

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Vysokofrekvenční konektory v prostředí programu**  
**CST Studio**

**RF Connectors in CST Studio**

**2018/2019**

**Michal Vaněk**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Vaněk**  
Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie  
Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika  
Téma: Vysokofrekvenční konektory v prostředí programu CST Studio  
RF Connectors in CST Studio

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Vysokofrekvenční konektory jsou nedílnou součástí vř zařízení. Cílem práce je provést rešerši v této problematice, popsat běžně i výjimečně používané typy vysokofrekvenčních konektorů a vytvořit jejich modely v programu CST Studio.

Vypracovaná práce bude splňovat následující body zadání:

1. Podrobný popis vysokofrekvenčních konektorů.
2. Tvorba přesných modelů vybraných typů (např. N, SMA/B/C, BNC, PL, UfL atd..) v programu CST Studio.

### Seznam doporučené odborné literatury:


[1]BALANIS, Constantine A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. 3rd Edition. England: Wiley-Interscience, April 4, 2005. ISBN 978-0471667827.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

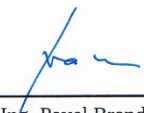
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019

  
prof. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry

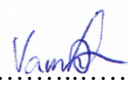


  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: *29. dubna 2019*

  
.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Marku Dvorskému, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Zbyňku Cágovi za poskytnutí měřicího náčiní pro co nejpřesnější změření rozměrů zapůjčených konektorů.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá vysokofrekvenčními konektory používanými v radiokomunikacích. Je zde popsáno, podle jakých parametrů nebo vlastností se dělí, i s příklady konektorů. Lze zde najít i jednotlivé vlastnosti konektorů, co je ovlivňuje a jak tomu případně předejít. Dále jsou v této práci podrobněji rozepsány ty nejpoužívanější konektory v pořadí od těch největších až po ty nejmenší. Po seznámení se s konektory začíná práce s CST studiím, kde je rozebráno, jaké modely konektorů jsou součástí této práce a jak byly vytvářeny.

## **Klíčová slova**

CST Studio; elektromagnetická vlna; frekvence; impedance; konektor; samec, samice, útlum; ztráty;

## **Abstract**

This Bachelor thesis focus is set to high frequency connectors that are used in radiotelecommunications. Theoretical part of this thesis introduce different connectors including practical examples and categorize them based on their major characteristics. Connector parameters are described including their sensitivity to external effects, potential ways to eliminate negative influence was discussed too. Further, most popular connectors are described individually. The focus of the practical part of this thesis is set to CST Studio work, which is used for modelling individual connectors.

## **Key words**

Connector; CST Studio; electromagnetic wave; female; frequency; impedance; losses; male

# Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
A	dB	Útlum
f	Hz	Frekvence
I	A	Proud
P	W	Výkon
U	V	Napětí
Z	$\Omega$	Impedance

## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam
<b>AV</b>	AudioVideo (Zvuk a Obraz)
<b>BNC</b>	Bayonet Neill Concelman
<b>ČSV</b>	Činitel Stojatých Vln
<b>GHz</b>	Giga Hertz
<b>IMD</b>	Inter-Modulation Distortion (Intermodulační zkreslení)
<b>kHz</b>	kilo Hertz
<b>LCP</b>	Liquid Crystal Polymer (Polymer tekutých krystalů)
<b>MHz</b>	Mega Hertz
<b>PBT</b>	Polybutylene terephthalate
<b>PC</b>	Precision Connector (Precizní konektor)
<b>PSV</b>	Poměr Stojatých Vln
<b>PTFE</b>	Polytetrafluorethylen
<b>RP</b>	Reverse Polarity (Obrácená polarita)
<b>SWR</b>	Standing Wave Ratio (Poměr stojatých vln)
<b>TV</b>	Television (Televize/Televizní)
<b>USB</b>	Universal Serial Bus (Univerzální sériová sběrnice)
<b>VSWR</b>	Voltage Standing Wave Ration (Napěťový poměr stojatých vln)



# Obsah

Úvod.....	- 10 -
1 Co jsou to konektory a jak je dělíme.....	- 11 -
1.1 Základní dělení konektorů.....	- 11 -
1.2 Poškození konektorů .....	- 15 -
1.3 Vlastnosti konektorů .....	- 16 -
2 Vysokofrekvenční konektory .....	- 18 -
2.1 Standartní konektory .....	- 18 -
2.2 Miniaturní konektory.....	- 23 -
2.3 Sub-miniaturní konektory .....	- 26 -
2.3.1 Konektory SMA a RP-SMA.....	- 28 -
2.3.2 Precizní konektory.....	- 30 -
2.4 Mikro-miniaturní konektory.....	- 36 -
2.5 Ultra miniaturní koaxiální konektory (UMMC).....	- 38 -
2.6 Srovnání vlastností vybraných konektorů .....	- 39 -
3 CST Studio .....	- 41 -
3.1 SMA konektor .....	- 43 -
3.1.1 Samec SMA.....	- 43 -
3.1.2 Samice SMA konektoru (atd-elektronik) .....	- 44 -
3.1.3 Precizní samice SMA konektoru (Mouser) .....	- 46 -
3.2 U.FL .....	- 46 -
Závěr .....	- 49 -
Použitá literatura .....	- 50 -
Seznam elektronických příloh.....	- 57 -

## Úvod

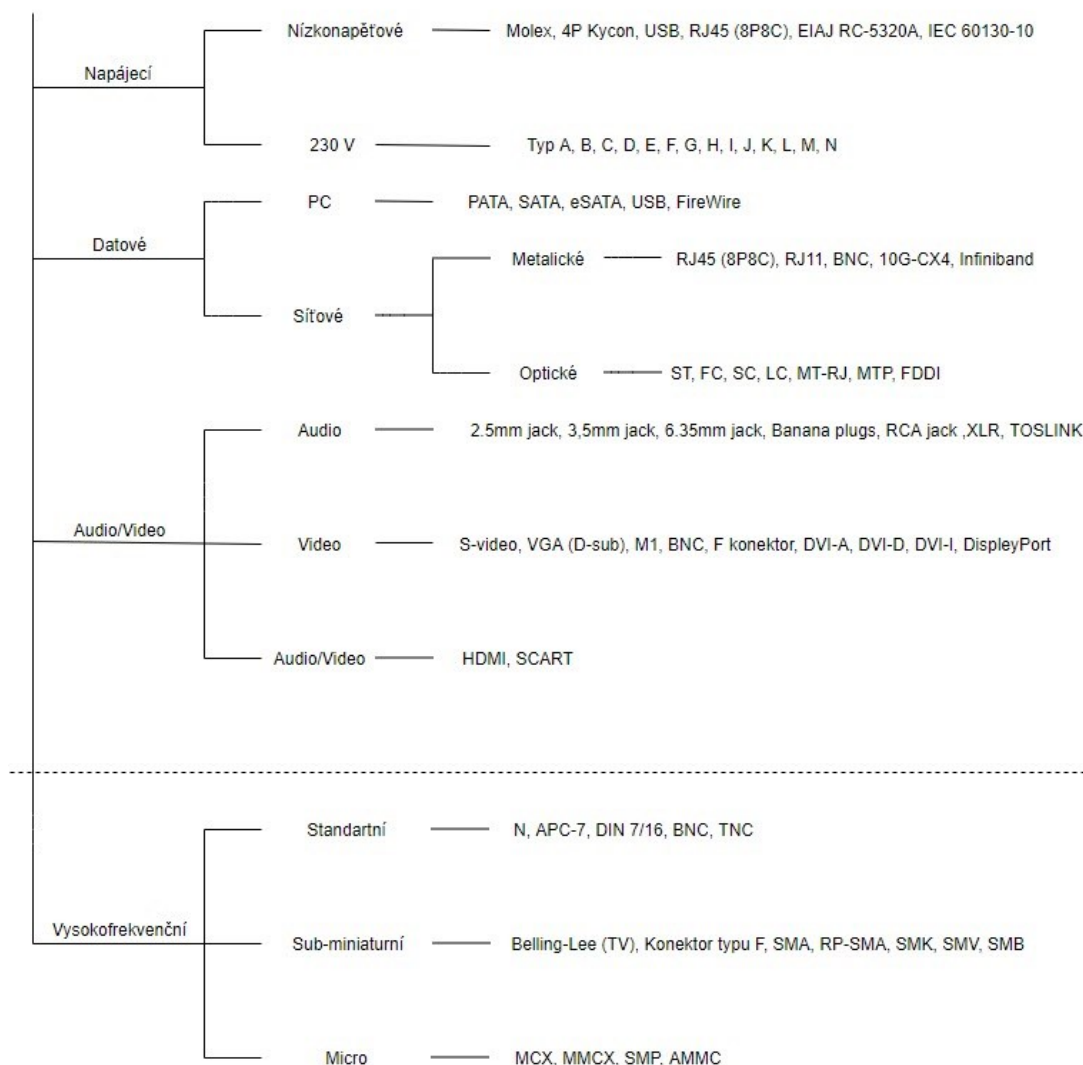
Tato bakalářská práce se zabývá vysokofrekvenčními konektory. V první kapitole se budeme zabývat konektory obecně. Řekneme si například k čemu slouží, jaké jsou možné varianty, na co si dávat pozor, a uděláme si výčet konektorů pro různé použití. V dalších kapitolách už se budeme věnovat výhradně vysokofrekvenčním konektorům, a to od těch největších až po ty miniaturní. V poslední kapitole je popsána práce v CST studiu a tvorba modelů některých z těchto vysokofrekvenčních konektorů, které jsou popsány v předchozích kapitolách.

# 1 Co jsou to konektory a jak je dělíme

Konektory obecně slouží za pomoci vodiče k propojení několika různých zařízení. Použité konektory a vodiče se mění na základě toho, co zamýšlíme přenášet, a na jakou vzdálenost. Dnes se používají konektory napájecí, datové, optické, nízkofrekvenční, vysokofrekvenční, audio/video, multimediální a počítačové.

## 1.1 Základní dělení konektorů

Konektory lze rozdělit do skupin podle vícero parametrů. Mezi nejširší rozdělení patrně patří rozdělení dle jejich využití. Nutno podotknout, že zde nejsou uvedeny všechny existující konektory, ale jen zlomek z existujících, a to ty nejpoužívanější a nejznámější.



Obrázek 1.1: Rozdělení konektorů dle jejich využití

### Pohlaví konektorů

Mezi další způsob dělení konektorů se řadí dělení podle pohlaví. Konektory se povětšinou vyvíjí v párech, dělí se na samce a samičky, laicky řečeno zástrčku a zásuvku. Existují však i konektory, které jsou bezpohlavní. Mezi bezpohlavní konektory patří kupříkladu APC-7, který je trochu podrobněji popsán v kapitole Vysokofrekvenční konektory. Příklad samce a samičky konektoru je k vidění kupříkladu na obrázku 2.2.

### Třída kvality konektorů

Mezi další způsob, jak dělit konektory, se dá zařadit i kvalita jejich zpracování. Zde se využívají dvě základní třídy kvality, a to standartní a precizní. Pro výrobu precizních konektorů se mohou používat jiné kovy a slitiny. Dalším prvkem ovlivňujícím kvalitu jsou i nižší tolerance u rozměrů při výrobě. To nám umožňuje, aby se dosáhlo vyšší maximální frekvence, výkonu, a aby se snížily ztráty a útlumy. Tyto precizní konektory pak také mívají vyšší odolnost vůči mechanickému poškození při častějším spojování a rozpojování konektorů. Dražší použitelné materiály a zpřísnění výrobních kritérií pro precizní konektory má však za následek jejich vyšší cenu, která se u některých konektorů může vyšplhat i do desítek tisíc korun za kus. Pro většinu aplikací jsou dostačující standartní konektory, ale je dobré si vždy pečlivě zkontrolovat specifikace daných konektorů a porovnat je s našimi požadavky.

### Způsob uchycování konektorů

U vysokofrekvenčních konektorů existují tři základní způsoby uchycení konektorů, a to šroubovací, bajonetové, zacvakávací a rychloupínací. Na obrázku 1.2 však lze vidět, že způsobů je více. Každý z těchto typů uchycení má své pro a proti. Nejrozšířenější jsou však mezi vysokofrekvenčními konektory ty šroubovací. Mezi tyto šroubovací konektory patří kupříkladu konektory typu N, F, SMA a spousta dalších. Z hlediska přenosových vlastností se jedná o velmi spolehlivý způsob spojování. Je zde však zapotřebí obezřetnosti, aby nedošlo k poškození závitů, což by bylo pro další fungování konektorů fatální.

					
SMA, SMC, TNC, N, UHF, DIN 7/16 atd.	UMP, MMS, MMT, MC-Card, SMB, MCX	BMA, SMP	BNC, C	QMA, QN, Fakra a USCar, SMZ typ 43	IMP, UMP
<b>Screw-On</b>	<b>Snap-On</b>	<b>Slide-On</b>	<b>Bayonet</b>	<b>Lock</b>	<b>Press-On</b>
Výkonnost: Výborná	Výkonnost: Průměrná	Výkonnost: Výborná	Výkonnost: Průměrná	Výkonnost: Průměrná	Výkonnost: Průměrná
Doba spojování: Dlouhá	Doba spojování: Velmi krátká	Doba spojování: Velmi krátká	Doba spojování: Krátká	Doba spojování: Velmi krátká	Doba spojování: Velmi krátká
Potřebuje prostor	Šetří místo Perfektní pro miniaturizaci	Šetří místo Západkový mechanismus	Potřebuje prostor	Šetří místo Spolehlivé spojení	Šetří místo Perfektní pro miniaturizaci

Obrázek 1.2: Typ spojovacích mechanismů a jejich vlastností [57]

Dalším hodně používaným spojovacím mechanismem je bajonetový, mezi jehož nejznámější zástupce patří konektor BNC. U tohoto způsobu spojování je prakticky vyloučena možnost náhodného rozpojení.

Rychloupínací varianta spojování je pak zastoupena především u konektorů QMA (Quick-Lock SMA), WQMA (Waterproof QMA) a QN (Quick-Lock N). Tento způsob upínání byl vyvinut aliancí několika výrobců v roce 2003. Konektory s tímto uchycováním jsou navrženy tak, aby poskytovaly snadné a rychlé použití pomocí zacvaknutí se stejnou kvalitou a spolehlivostí, kterou poskytují šroubovací konektory. Tento mechanismus umožňuje pohodlné spojení i v těsnějších prostorech bez nutnosti mít momentový klíč. Další výhodou tohoto typu spojování je možnost otáčení o 360°, což usnadňuje směřování kabelů. Tyto konektory jsou navíc optimalizovány pro odolnost proti otřesům a vibracím v drsném prostředí. Dále jsou uzpůsobeny tak, aby nedocházelo k náhodnému rozpojení. [34][40]

### **Polarita konektorů**

Ačkoli to není tak časté, můžeme se setkat i s konektory, které mohou mít obrácenou polaritu. Ukázkovým příkladem je konektor SMA a RP-SMA, kdy RP je označení obrácené polarity (Reverse Polarity). Krom této drobné, avšak velmi zásadní změny se jedná o stejné konektory. Oba dva tyto konektory, včetně důvodu vzniku tohoto konektoru s obrácenou polaritou jsou podrobněji rozebrány v kapitole vysokofrekvenční konektory, kde je část věnovaná i konektorům SMA.

### **Velikost konektorů**

V dnešním světě, kdy se elektronika stále zmenšuje, je potřeba vyvíjet i konektory, které by dosahovaly nižších rozměrů. Příkladem by mohly být konektory HDMI, HDMI-mini, HDMI-micro nebo USB, USB-mini a micro-USB. V oblasti vysokofrekvenčních konektorů to nefunguje úplně stejně jako u oněch dvou uvedených příkladů. Není zde vyvíjen takový tlak na zmenšování už zavedených a spolehlivých konektorů typu N nebo DIN 7/16, ale jsou vyvíjeny nové menší konektory, které by mohly být vkládány do stále se zmenšujících zařízení jako mobilní telefony, GPS navigace, laptopy atd. U většiny těchto systémů se pracuje s frekvencemi do 6 GHz a s výkony v řádech jednotek Wattů, nejsou na ně tedy kladeny takové nároky.

### **Impedance konektorů**

Dnes se u asymetrických koaxiálních kabelů a koaxiálních konektorů setkáváme se dvěma variantami, a to s 50 a 75  $\Omega$ . Díky vlastnostem, které impedance udává konektorům a napáječům jsou obecně verze se 75  $\Omega$  určeny spíše jen pro příjem signálu, jako například u televizního vysílání, kde se primárně využívají F a TV konektory. 75  $\Omega$  verze jsou tedy dosti rozšířené, ale není tolik systémů vyžadujících primárně jen příjem signálu na jiných frekvencích, než které konektory F a TV zvládají, aby se jejich počet blížil těm s 50  $\Omega$ .

Konektory a napáječe s impedancí 50  $\Omega$  jsou vhodnější pro obousměrnou komunikaci, tedy příjem a vysílání signálu. Jsou využívány ve vícero aplikacích nežli 75  $\Omega$  verze a mají tedy i mnohem vyšší zastoupení.

### Varianty konektoru

U značné části konektorů je také možnost vybrat si mezi rovnými, pravoúhlými, i dalšími variantami (viz. Obrázek 1.3). Běžně se používají spíše rovné neboli přímé varianty. Nicméně jsou případy, kdy situace nedovoluje použít přímou variantu, a je použita pravoúhlá, u které kabel opouští konektor v pravém úhlu ke středu osy konektoru. Většinou se vyskytují z důvodu špatné dostupnosti a nedostatku místa. Nevýhodou pravoúhlých konektorů bývá vyšší ztrátovost oproti jejich přímým protějškům, což pro většinu použití nemusí být nikterak významné, ale u frekvencí blížících se k provoznímu limitu těchto konektorů může mít i tato vyšší ztrátovost zásadní vliv na fungování systému. T-člen konektorů se pak používá při potřebě rozvětvit spoj, tento konektor se kdysi používal v počítačových sítích u sběrnicevého (BUS) zapojení. Dnes je lze ještě běžně najít většinou v laboratořích, kupříkladu při práci s osciloskopem. Existují pak také varianty konektorů, které lze uchytit na obvodovou desku. My pak povětšinou vidíme jen tu propojovací část, která vyčnívá z různých elektronických zařízení, a část konektoru, která je uchycena na obvodové desce, je i s onou deskou ukryta v útrobách těchto zařízení. Na obrázku je také k vidění varianta přechodu z BNC na banánkové konektory.

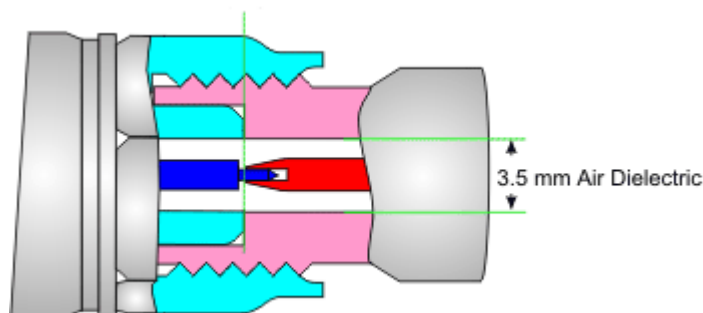


Obrázek 1.3: Ukázka různých variant BNC konektoru

### Dielektrikum konektoru

Dnes se v konektorech využívají nejčastěji dva druhy dielektrik a to PTFE (Polytetrafluorethylen), které používají kupříkladu konektory BNC a TNC. Druhé často používané dielektrikum je pak vzduch, ten používá kupříkladu konektor APC-7, SMK a SMV. Obecně platí, že vzduchové dielektrikum má lepší vlastnosti, ale používá se spíše u precizních konektorů, které jsou dražší. V obyčejných konektorech se pak používá ono PTFE. Spojení konektorů s použitím vzduchu jako dielektrika je zobrazeno na obrázku 1.4.

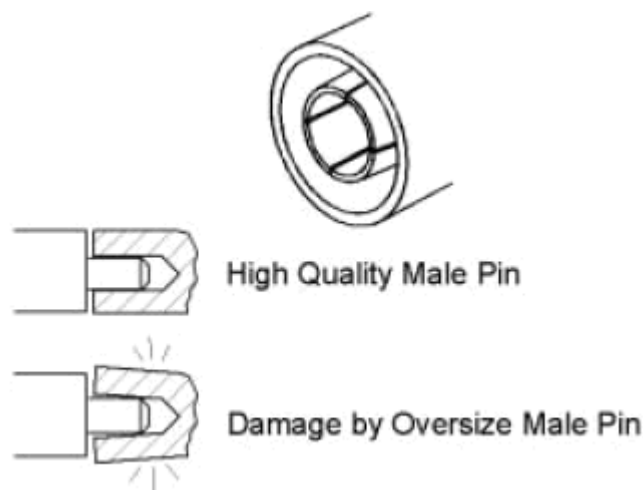
Používaných dielektrik je však více. U konektoru UFL, který patří spíše k těm novějším, se nepoužívá PTFE ani vzduch, ale LCP (Liquid Crystal Polymer) a PBT (Polybutylene Terephthalate).



Obrázek 1.4: Spojení samce a samičky (růžová) konektoru se vzduchem jako dielektrikem. [7]

## 1.2 Poškození konektorů

Při snaze propojit dva rozdílné konektory, které spolu nejsou kompatibilní, může dojít k poškození konektorů. I když jsou konektory obecně vedeny jako kompatibilní, bývá dobré být obezřetný a podívat se do dokumentace výrobců oněch konkrétních výrobků. Může se stát, že jeden z konektorů nebude příliš kvalitní a může mít kupříkladu lehce větší pin. To by mělo za následek poškození zástrčky u jeho protějšku, viz obrázek níže. [7]



Obrázek 1.5: Příklad poškození nekvalitním konektorem, případně nekompatibilním, který má větší pin [7]

## 1.3 Vlastnosti konektorů

### Impedance

Charakteristická impedance je důležitý parametr vázaný k metalickému vedení včetně konektorů. Značka charakteristické impedance je  $Z_c$  a její jednotkou je Ohm [ $\Omega$ ]. Impedance má velký vliv na kvalitu přenášeného signálu, protože nám tento signál zkresluje svými reálnými a imaginárními složkami.

Na rozhraní dvou prostředí s různou impedancí vznikají odrazy a ztráty, které jsou označovány mezinárodně jako SWR (Standing Wave Ratio), a v Česku se můžeme setkat s označením PSV (Poměr Stojatých Vln) nebo ČSV (Činitel Stojatých Vln). Nejlepší možné SWR je 1, a nejhorší možné je nekonečno. Zpravidla zde platí, že čím vyšší SWR, tím vyšší je útlum signálu. Tento problém s odrazy na rozhraních dvou různých prostředí lze řešit impedančním přizpůsobením. Úzce spojeny jsou s tímto tématem také pojmy jako činitel odrazu a zpětné ztráty.

### Útlum

Útlum neboli ztráty jsou značeny písmenem A. Jedná se o nežádoucí jev u veškerého přenosu signálu (dat), který se vyskytuje ve všech částech přenosového řetězce a na všech typech vedení (vzduch, metalická a optická kabeláž). Jednou z částí přenosového řetězce jsou právě spoje, které zajišťují konektory. Útlum u těchto konektorů je způsobován mnoha faktory.

- Použitím materiálů s nižší vodivostí, přičemž dochází k přeměně části výkonu na teplo.
- Špatným přizpůsobením impedance, a tedy vyššímu SWR, které na rozhraní konektoru způsobuje odraz části signálu.
- Nedokonalým spojením konektorů, kupříkladu nedotažený šroubovací konektor.
- Nečistotami, deformací a poškozením konektoru nebo jeho oxidací.

U útlumu ve většině případů používáme jednotky dB (deciBell), s kterými je snazší počítání a získáme je použitím logaritmu. Útlum o každé 3 dB představuje 50% ztrátu signálu. Pro útlum 6 dB by tedy ztráty byly 75 %. Pro 9 dB pak 87,5 % a tak dále.

Při obecných výpočtech telekomunikační rovnice se počítá s útlumem na každý konektor přibližně 1 dB. Samozřejmě skutečná hodnota se může lišit dle kvality zpracování konektoru a jeho stavu.

Vzorec pro výpočet útlumu výkonu se nachází níže ve vzorci 1.1.

$$A_{dB} = -10 \log \frac{P_{výstupní}}{P_{vstupní}} \quad (1.1)$$



### **Mechanické vlastnosti**

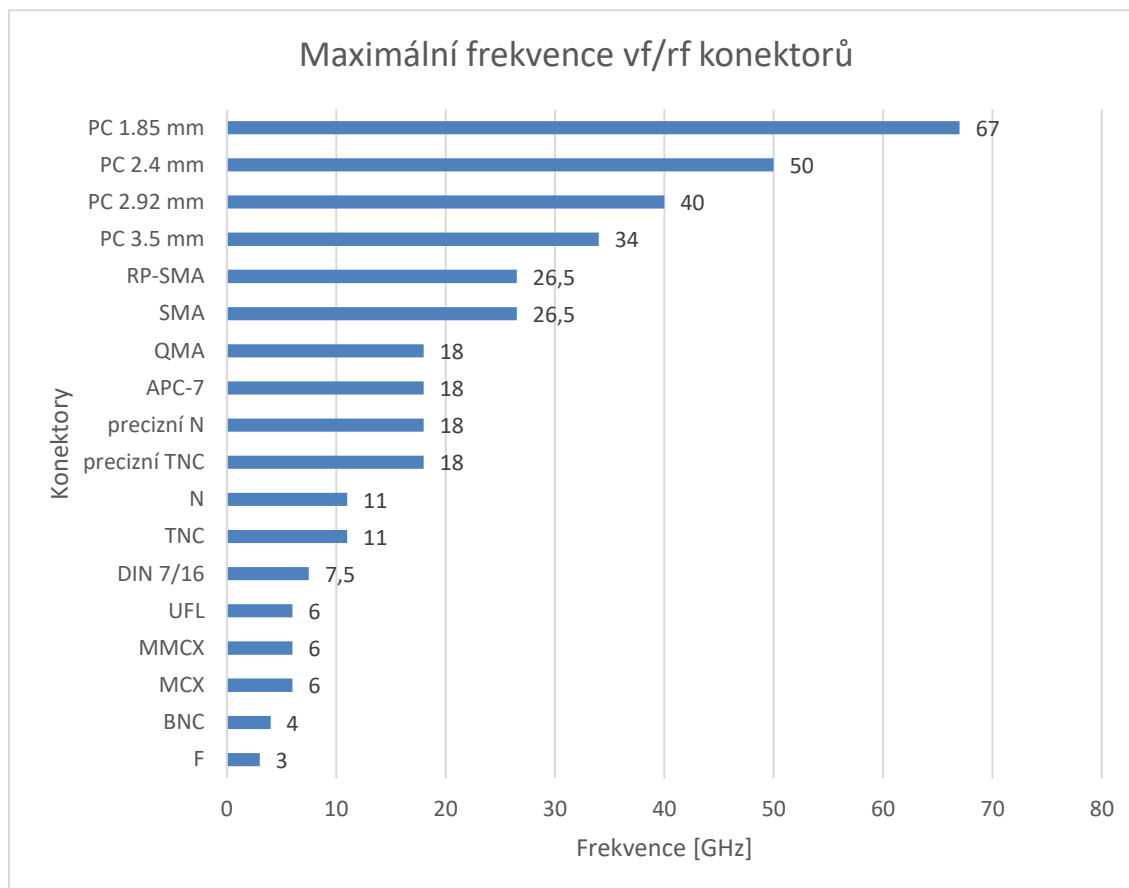
Tyto vlastnosti konektorů jsou dány jejich konstrukcí, použitými materiály, výrobními procesy a precizností zpracování. Mezi nesmírně důležité vlastnosti patří také stínění, které zabraňuje úniku elektrického a magnetického pole. Bohužel z důvodů mechanických a výrobních omezení je 100% stínění jen zřídka proveditelné. Z tohoto důvodu může část energie unikat z přenosového vedení, což je považováno za ztrátu. Tyto úniky dále mohou způsobovat rušení (přeslechy). Velkým unikům je zabráněno dobrým stíněním pomocí plně uzavřeného dielektrika.

Další takovou vlastností je i voděodolnost, pro kterou musí být konektory jistým způsobem mechanicky upraveny. Používá se zde standard IP xx (International Protection), který označuje stupeň krytí. Za IP následují dvě číslice. První (0-6) značí ochranu živých částí proti dotykům a předmětům. Druhá (0-8) určuje stupeň ochrany proti proniknutí vody k živým částem zařízení, v tomto případě konektorům.

U mechanických informací ke konektorům bývá zpravidla uváděn minimální počet cyklů spojování a rozpojování, a síla k tomu potřebná. Dále také typ spojení (závitové, bajonetové,...) a informace o tom, zda má konektor hexagonální část pro manipulaci pomocí momentového klíče.

## 2 Vysokofrekvenční konektory

U vysokofrekvenčních systémů, hraje klíčovou roli správný výběr konektoru a má vliv i na stávající systémové vlastnosti a vybavení. Mezi úplně nejpobulárnější konektory patří typ N a SMA. Je jimi vybavena většina testovacích zařízení.



Obrázek 2.1: Maximální frekvence konektorů zmíněných v této práci

### 2.1 Standartní konektory

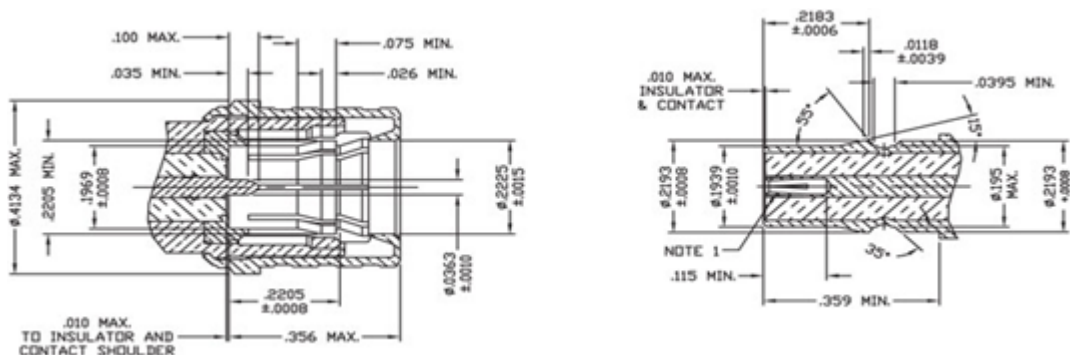
#### Konektor typu N

Paul Neill vyvinul tento konektor v roce 1940 v Bellových laboratořích. Jedná se o RF (Rádio Frekvenční) koaxiální konektor s většími fyzickými rozměry, který byl vyvíjen na základě potřeby vysoce výkonného RF konektoru s konstantní impedancí. Konektor má robustní konstrukci a je odolný proti neúmyslnému poškození vyosením konektorů při spojování. Nový a čistý konektor by při perfektním vyvážení SWR=1 měl zvládnout až 5 kW (kilo Watt, jednotka výkonu) při frekvenci 20 Hz. Tento výkon však se zvyšující se frekvencí klesá a při frekvenci 2 GHz, by klesl až k 500 W.

Existují dvě verze konektoru typu N, 50  $\Omega$  a 75  $\Omega$ . (Obrázek 2.2). Mezi těmito verzemi jsou rozdíly nejen v impedanci. I když je vnitřní průměr vnějších vodičů stejný, u 75  $\Omega$  verze je průměr středního vodiče menší, aby se dosáhlo požadované impedance 75  $\Omega$ . Konektory tedy nejsou kompatibilní a při snaze o propojení samice se 75  $\Omega$  a samce s 50  $\Omega$  dojde k mechanickému poškození dutinky u samice. Konektor N je schopen zvládnout větší výkony než konektory BNC nebo TNC, které z něj vycházejí. Standartní verze tohoto konektoru je určena pro provoz až do 11 GHz. Preciznější verze pak zvládají frekvence až do 18 GHz.[4][8][9]



Obrázek 2.2: Srovnání 50 a 75  $\Omega$  verze N konektoru s důrazem na pin (kontakt). Samci jsou umístěni nahoře, samice pod nimi. [59][60]



Obrázek 2.3: Okótované schéma samce (vlevo) a samice 50  $\Omega$  N konektoru [35]

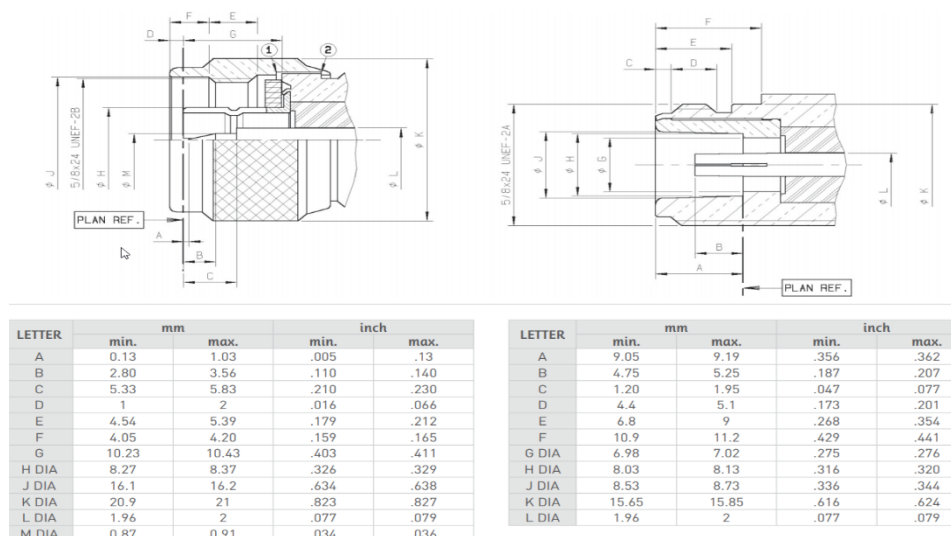
Koaxiální konektor typu N je používán pro mnoho RF aplikací včetně vysílacích a komunikačních zařízení, kde mu jeho schopnost pracovat s vysokými výkony umožňuje být

využíván u vysílačů střední velikosti. Je však využíván i u spousty přijímačů a jiných běžných RF aplikací. [9]

Tabulka 2.1: Základní vlastnosti konektoru typu N [9][22][58]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	11 GHz, 18 GHz u některých typů
Impedance	50 $\Omega$ , 75 $\Omega$
SWR při maximální frekvenci	< 1,3
Maximální napětí	1 500 V
Kontaktní odpor spojení středního vodiče	1 m $\Omega$
Kontaktní odpor spojení vnějšího vodiče	0.2 m $\Omega$

(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)



Obrázek 2.4: Okótovaný samec (vlevo) a samice 75  $\Omega$  N konektoru [61]

### Konektor QN

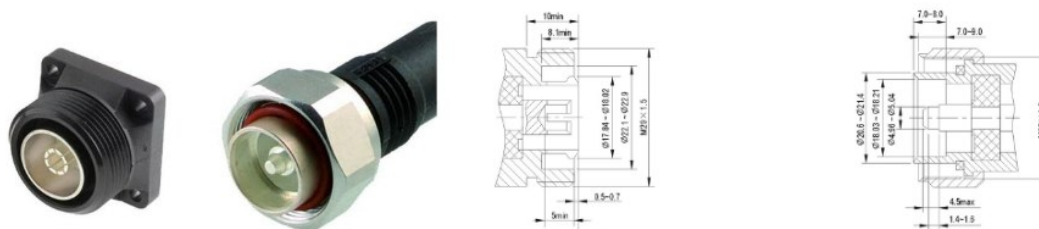
Jedná se o inovativní alternativu ke konektoru typu N, kdy klasický šroubovací mechanismus byl nahrazen mechanismem Quick-Lock. Konektor QN je vhodný pro vnitřní i venkovní použití včetně základových stanic a celulárních zařízení. Konektor je zobrazen na obrázku 2.5. [40][34]



Obrázek 2.5: Samec (vpravo) a samice konektoru QN [39]

## Konektor DIN 7/16

Název tohoto konektoru vychází z jeho metrických rozměrů, kdy má vnitřní kontakt 7 mm a vnější kontakt 16 mm. Tento konektor poskytuje skvělý výkon i při zpětných ztrátách a intermodulačním zkreslení (IMD). Maximální špičkový výkon je až 13.2 kW, průměrný špičkový pak okolo 3 kW. Konektory DIN 7/16 (viz Obrázek 2.6) jsou dále velmi robustní, stabilní a často mívají i vodotěsné specifikace. Tudíž se používají tam, kde je důležitá odolnost vůči vibracím a kupříkladu venkovním podmínkám. Díky zminimalizování ztrát ze zkreslení signálu z intermodulace je dále konektor vhodný pro základnové stanice a vysílací komunikační systémy. Jedná se o jeden z větších konektorů, co se rozměrů týče. Avšak díky svým kvalitám si najde své uplatnění. Krom nízkého IMD má také nízké SWR. Díky jeho větší velikosti a robustnosti se s ním dobře manipuluje. Stříbrné kontakty a tělo ze stříbra nebo bílého bronzu pak zajišťují vysokou vodivost a odolnost proti korozi. [2][3]



Obrázek 2.6: Samec (vpravo) a samice s okóvaným schématem DIN 7/16 konektoru [2][35]

*Tabulka 2.2: Základní vlastnosti konektoru DIN 7/16 [3]*

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	~7.5 GHz
Impedance	50 $\Omega$
SWR při maximální frekvenci	<1.3
Bezpečnostní vlastnosti	IP68

(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)

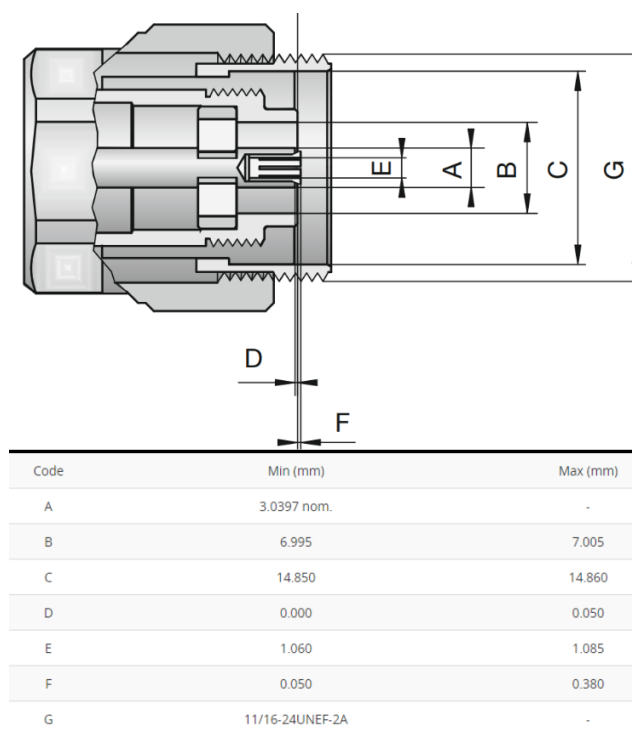
### Konektor APC-7 (7.0 mm)

Tento konektor byl poprvé představen v polovině 70. let 20. století společností HP (Hewlett Packard) jako 7mm konektor. Později jej společnost Amphenol nabízela jako APC-7 (Amphenol Precision Connector-7 mm). Toto pojmenování se ujalo více a dnes je bráno jako standardní. APC-7 je k vidění na obrázku 2.7 a okótovaný konektor s tabulkou hodnot je na obrázku 2.8. Konektor je jako jeden z mála bezpohlavní, a tedy každý konektor může fungovat jako samec nebo samice, v závislosti na tom, jakým způsobem je otočena spojovací matice. Pohybem po směru hodinových ručiček dochází k roztažení pouzdra a v konektoru se vytvoří zásuvka (samice). Naopak pohyb proti směru hodinových ručiček vede k odtažení, a konektor pak funguje jako zástrčka (samec). Dále vzhledem k velikosti konektoru nebývá k jeho utažení

zapotřebí klíč. Nicméně i přesto má většina těchto konektorů šestihrannou matici, pro případ potřeby. [10][11][16]



Obrázek 2.7: Konektor APC-7 [10]



Obrázek 2.8: Okótovaný obrázek konektoru APC-7 s tabulkami hodnot

Tabulka 2.3: Základní vlastnosti konektoru APC-7 [10][58]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	18 GHz
Dielektrikum	Vzduch
SWR při maximální frekvenci	1.03
Impedance	50 $\Omega$
Pohlaví	Bezpohlavní

(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)

Jedná se o drahý konektor, a proto se jen zřídka používá mimo laboratoře. Celkově už se dnes moc nepoužívá. Kvůli vysoké ceně, a ne příliš vysoké maximální frekvenci se dnes místo APC-7 používá spíše levnější PC 3.5 mm. [10]

## 2.2 Miniaturní konektory

### Konektor BNC

Konektor BNC byl vyvinut koncem 40. let minulého století. Byl vyvinut ve snaze zajistit vysoce kvalitní, robustní konektor, který by byl menší než konektory typu N a C, které byly o poznání větší. Dá se říct, že se jedná o miniaturní verzi konektoru C, který byl bajonetovou verzí konektoru typu N.

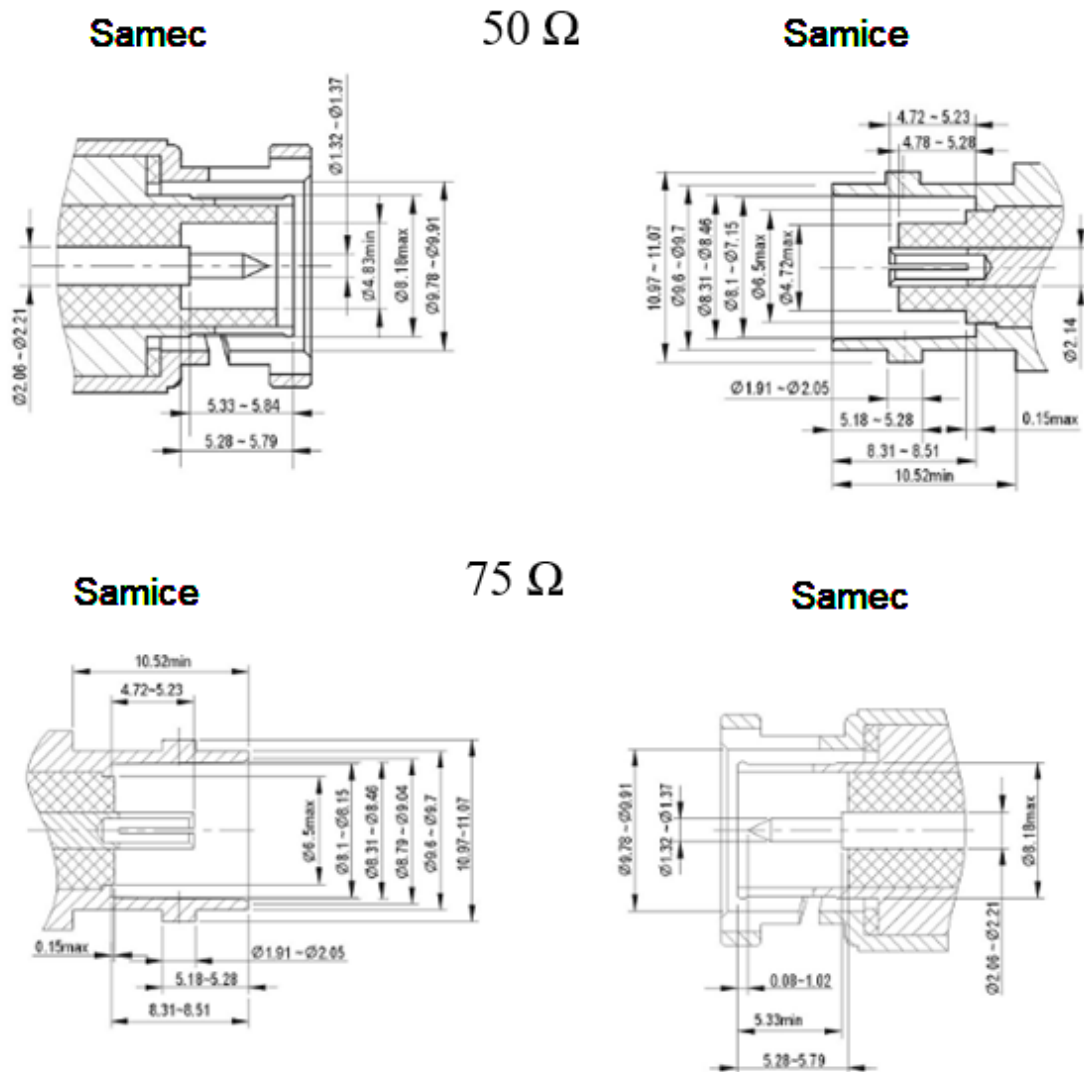
Dnes koaxiální konektor BNC patří mezi jedny z nejrozšířenějších RF konektorů. Používá se u testovacích zařízení pro všechno. Od osciloskopu, přes zvukové generátory a měřiče výkonu, až po funkční generátory. Jedná se zejména o použití u aplikací, kde je vyžadován koaxiální nebo stíněný kabel. Velmi typický rys tohoto konektoru je, že používá bajonetovou fixaci. Což je i velmi praktické, jelikož to zabraňuje náhodnému odpojení. Dále stojí určitě za zmínku, že má konstantní charakteristickou impedanci v celém konektoru. To znamená, že jakýkoli RF signál přenášený koaxiálním kabelem neovlivní při průchodu konektorem impedanci. To zajistí méně reflexí, a tedy i nižší ztráty.[18] [27]

BNC konektor se vyrábí ve dvou variantách. S 50  $\Omega$  impedancí a se 75  $\Omega$  impedancí. Jak si lze všimnout na obrázku 2.9, na první pohled je zde vidět, že u 75 Ohmové verze není dielektrikum zakončeno až s pinem, jako je tomu u verze s 50  $\Omega$ . [14]



Obrázek 2.9: Samci (vlevo) a samičky BNC konektorů v 50  $\Omega$  (nahore) a 75  $\Omega$  provedení [13][14]

Okótovaná 50  $\Omega$  a 75  $\Omega$  verze konektoru BNC je na obrázku 2.10.



Obrázek 2.10: Okótované schéma 50 a 75  $\Omega$  BNC konektoru

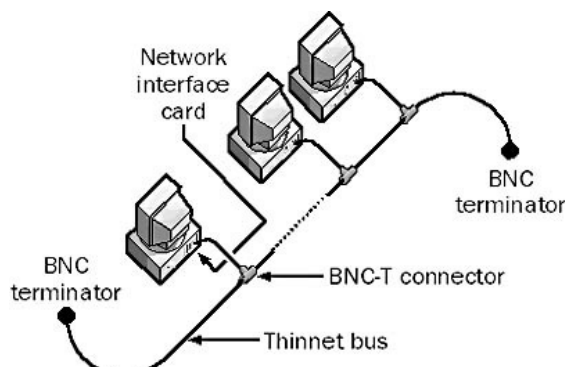
Tabulka 2.4: Základní vlastnosti konektoru BNC [18][58]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	4 GHz
Impedance	50 $\Omega$ a 75 $\Omega$
Dielektrikum	PTFE
50 $\Omega$ SWR při maximální frekvenci	1.3
75 $\Omega$ SWR při maximální frekvenci	1.5
Maximální napětí	500 V

(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)



V ČR se BNC konektory masově rozšířili v posledním desetiletí 20. století, kdy byly použity k budování sítě Ethernet typu 10Base2, u které dosahovaly přenosové rychlosti až 10 Mbit/s. Příklad takové sítě je na obrázku 2.11.[28]



Obrázek 2.11: 10Base2 Ethernet za použití BNC konektoru s koaxiálním kabelem [28]

### Konektor TNC

Konektor TNC (viz Obrázek 2.12) je velmi podobný konektoru BNC, který jste mohli vidět v předchozí podkapitole, nepoužívá však bajonetové spojení, nýbrž opět šroubovací závit. Spojení pomocí BNC se ukázalo být náchylné na vibrace. Při uchycení konektorů pomocí bajonetu docházelo k lehkým pohybům, které vytvářely drobné rozdíly v odporech, a ty zase vedly ke vzniku šumu. Z tohoto důvodu byl vyvinut konektor TNC, který tento nedostatek eliminuje. Dosáhl toho díky pevnějšímu šroubu nebo závitovému uspořádání vnější části konektoru. Z použitých závitů vzniklo i pojmenování pro tento konektor "Threaded Neill Concelman". [21]



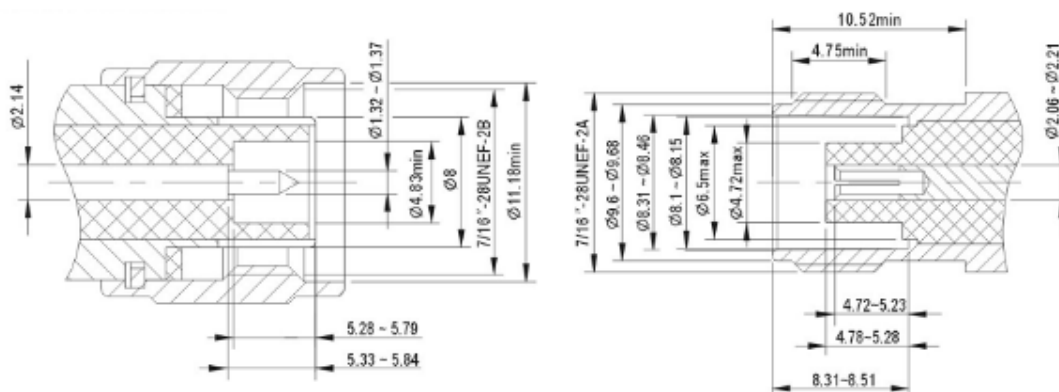
Obrázek 2.12: Samec (vlevo) a samice TNC konektoru [62]

Tabulka 2.5: Základní vlastnosti konektoru TNC [21]/[29]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence*	11 GHz, 18 GHz u některých typů
Impedance	50 $\Omega$ , 75 $\Omega$
Dielektrikum	PTFE
SWR při maximální frekvenci	$\leq 1.3$

(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)

Tento konektor má spoustu vlastností jako BNC, nicméně díky uspokojivějšímu spojení bylo možné zvýšit frekvenční rozsah tohoto konektoru, a to na 11 GHz, u některých verzí pak až na 18 GHz. Většina těchto konektorů je v 50  $\Omega$  verzi, jsou však k dostání i verze se 75  $\Omega$ , které poskytují slušné SWR pro frekvence okolo 1 GHz. [21][29]



Obrázek 2.13: Okótovaný samec (vlevo) a samice TNC konektoru [35]

## 2.3 Sub-miniaturní konektory

### TV konektor

Tento konektor (viz Obrázek 2.14) byl vyvinut firmou Belling & Lee ve Spojeném Království kolem roku 1922. Jmenuje se také Belling-Lee konektor podle názvu firmy, ale dle jeho nejčastějšího využití se začal označovat jako TV konektor. Konektor byl a je totiž využíván k propojení koaxiálních kabelů, střešních antén pro VHF/UHF (Velmi Vysoké Frekvence/Ultra Vysoké Frekvence), anténních zesilovačů signálů, distribučního vybavení CATV (Kabelové televize) a TV (Televizního) zařízení. Běžně byl využíván hlavně v Evropě a Austrálii. [25][30]



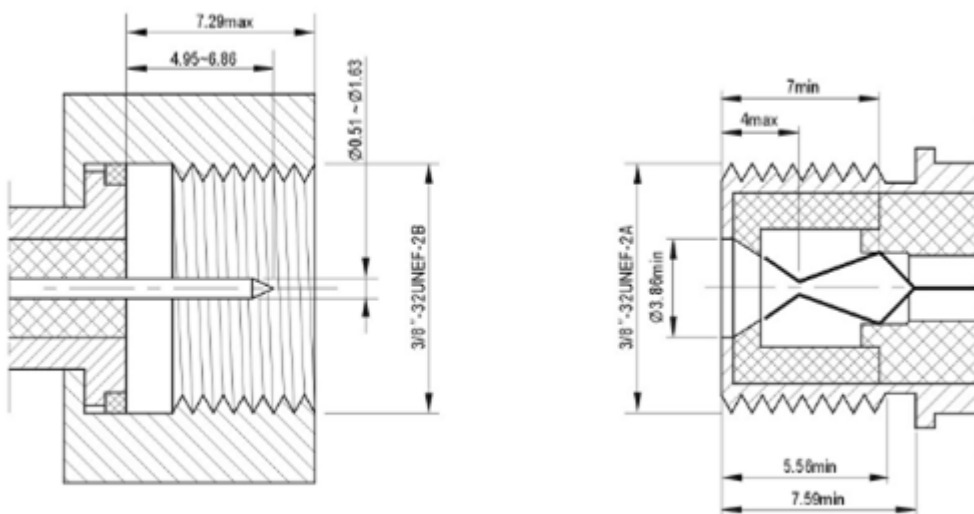
Obrázek 2.14: Samec (vlevo) a samice Belling-Lee (TV) konektoru [31]

### Konektory typu F

Konektor vyvinul Eric Winston v 50. letech 20. století v USA, pod záštitou společnosti Jerrold Electronics, která vyvíjela zařízení pro trh s kabelovou televizí. Jedná se o koaxiální konektor navržený tak, aby byl levný a dobře fungoval, díky čemuž se velmi rychle rozšířil. Používán byl globálně pro satelitní TV, ale i pozemní televizní kabely. Konektor má impedanci  $75 \Omega$  a je situován tak, že při spojení samce a samičky se dielektrikum konektorů dotýká a je tedy zajištěna téměř konstantní impedance skrz celý konektor. Konektor je určen pro frekvence maximálně do 3 GHz. Konektor je ukázán na obrázku 2.15. [15][25]



Obrázek 2.15: Samec (vlevo) a samice RF konektoru typu F [32]



Obrázek 2.16: Okótovaný samec (vlevo) a samice RF konektoru typu F [35]

### 2.3.1 Konektory SMA a RP-SMA

SMA je subminiaturní, koaxiální konektor, jehož název je odvozen z anglického sousloví "Sub-Miniature A connector" (SMA) (viz Obrázek 2.17). Počátky tohoto konektoru se datují někdy v 60. letech minulého století. Dnes je tento konektor hojně využíván pro zajištění propojení radiofrekvenční sestavy, která potřebuje být spojena koaxiálním kabelem. Hojně využíván byl například také u Wi-Fi antén, kde jej později nahradil sub-miniaturní A konektor s reverzní polaritou (RP-SMA) (viz Obrázek 2.17). [17][20]

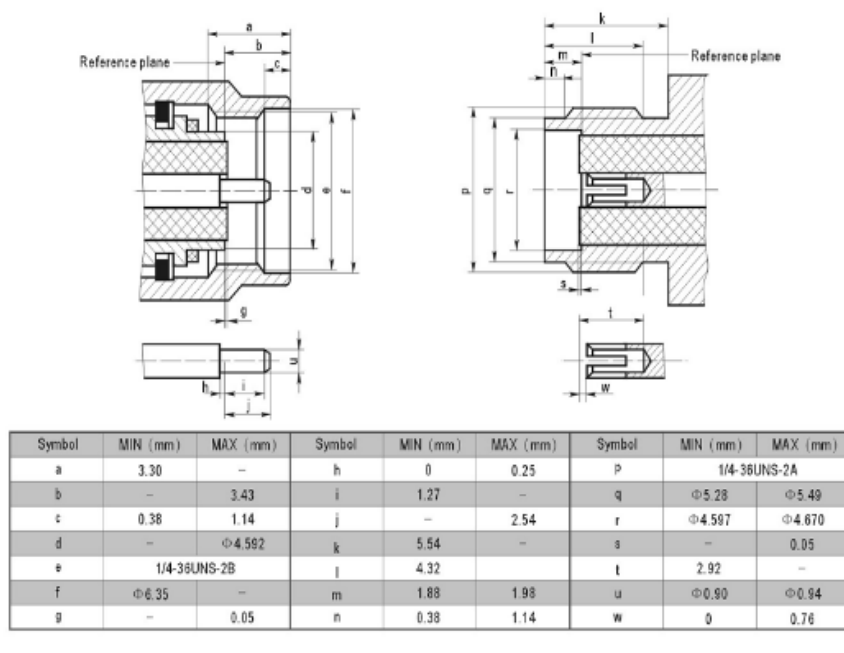


Obrázek 2.17: Konektory SMA a RP-SMA [33]

Tabulka 2.6: Základní vlastnosti konektoru SMA a RP-SMA [17][20]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	18 GHz (26.5 GHz)
Impedance	50 $\Omega$
SWR při maximální frekvenci	$\leq 1.3$
Dielektrikum	PTFE
Minimální odolnost	500 cyklů spojení

(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)



Obrázek 2.18: Okótovaný samec (vlevo) a samice SMA konektoru s tabulkou hodnot [35]

Konektor RP-SMA má oproti SMA reverzní polaritu pohlaví, tohoto rozdílu si lze všimnout na obrázku 2.17. Jinak se jedná v podstatě o ten samý konektor. RP-SMA byl vyvinut,

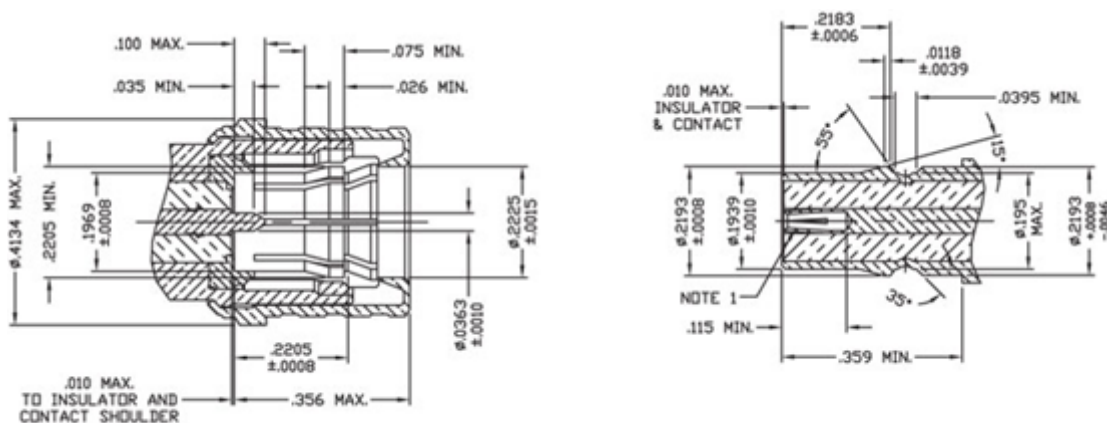
aby nahradil konektor SMA u wifi antén. U wifi antén se používali konektory N a SMA, které byly v té době běžně dostupné, a uživatelé si tak mohli relativně snadno k wifi přidělat jinou anténu s mnohem vyšším ziskem a narušit svým wifi signálem jiné systémy v okolí. U wifi antén se tedy začaly používat konektory RP-SMA, které nebyly jinak dostupné. [17][20]

### Konektor QMA

Jedná se o verzi SMA konektoru, u které byl šroubovací mechanismus nahrazen zacvakávacím. Instalace konektoru je tím pádem mnohem rychlejší a byla eliminována možnost nedotažení konektoru, spojení tedy bývá zpravidla lepší. Díky sdílení stejné vnitřní konstrukce s konektorem SMA zůstává konektoru skvělá výkonnost. Výdrž konektoru bývá minimálně 100 spojení a maximální frekvence 18 GHz. Zvládá výkon 200 W při 1 GHz. [34]



Obrázek 2.19: Samec (stříbrný) a samice konektoru QMA [34]



Obrázek 2.20: Okótovaný samec (vlevo) a samice QMA konektoru [38]

Ke konektoru QMA existuje i verze s certifikací IP68, která je pojmenovaná WQMA (Waterproof QMA). Tento konektor by pak měl odolat prašnému prostředí, dešti, a dokonce i ponoření ve vodě. Tento konektor je tedy vhodný pro venkovní, ale i jiná použití v nepříznivých podmínkách. [34]

### 2.3.2 Precizní konektory

Jedná se o řadu přesných vysokofrekvenčních konektorů s vysokou kvalitou. Často se používají v měřících a jiných aplikacích, kde je vyžadován mimořádně vysoký výkon.

Konektory v této řadě zahrnují: PC 3.5 mm, PC 2.92 mm, PC 2.4 mm, PC 1.85 mm, PC 1.0 mm

Každý z těchto precizních konektorů má své vlastní použití a specifikace. Obecně ale platí, že se používají pro specializované aplikace a poskytují velmi vysokou úroveň výkonu. Aby byla zajištěna udržitelnost těchto výkonů, je třeba dbát na čistotu a pečlivost při spojování těchto konektorů. Při provozu na nejvyšších frekvencích mohou i drobné nedostatky způsobit značné rozdíly. Vzhledem k preciznosti konektorů, a tedy jejich přesnosti, jsou o poznání dražší oproti jiným. Ceny těch levnějších začínají někde na tisíci koruně a prudce stoupají.[16][24]

#### Kompatibilita sub-miniaturních konektorů

Některé sub-miniaturní konektory jsou mezi sebou kompatibilní, to však neznamená, že bychom ony kompatibilní konektory měli bez rozvahy spojovat, jak se nám zlíbí. Obzvláště je třeba dávat si pozor na rozměry středových pinů a zdírek konektorů. Každý výrobce může používat jiné technologie, má jiné tolerance a kvalitu výrobků a je tedy možné, že kompatibilita u některých konektorů s menší kvalitou platit nebude. Respektive, by mohly jít spojit, ale je šance, že se konektor poškodí, případně zkrátí jeho životnost. Konektor PC 2.92 mm má podobnou mechanickou charakteristiku jako PC 3.5 mm a SMA, která jim umožňuje propojení. Nicméně díky drobným rozdílům v rozměrech by jejich propojení vyústilo v degradaci elektrických vlastností. Degradace elektrického výkonu by sice nebyla nijak významná a mohla by být v mnoha případech a aplikacích ignorována. Při práci s velmi citlivým systémem by se však mělo použít odpovídající rozhraní konektoru.

Tabulka 2.7: Kompatibilita některých sub-miniaturních konektorů [49]

	SMA	3.50 mm	2.92 mm	2.40 mm	1.85 mm
SMA	✓	✓	✓		
3.50 mm	✓	✓	✓		
2.92 mm	✓	✓	✓		
2.40 mm				✓	✓
1.85 mm				✓	✓

Jelikož jsou tyto konektory rozměrově jinak dimenzované, není spojení rozdílných konektorů tak jednoduché. Kupříkladu při spojování samce konektoru SMA k samici konektoru PC 3.5 mm nebo PC 2.9 mm je potřeba prvně zachytit kolík SMA konektoru a pak až závit. Z toho důvodu je potřeba být opatrný a provést připojení pečlivě, aby nedošlo k poškození. V opačném případě, kdy bychom chtěli samce PC 3.5 mm nebo PC 2.92 mm spojit se samicí SMA konektoru, tak se prvně spojí závit a až poté pin, což zajišťuje stabilnější spojení, kde je menší pravděpodobnost poškození konektorů. [16][24][49]

**Precizní konektor 3.5 mm (PC 3.5 mm)**

Konektor PC 3.5 mm (viz Obrázek 2.21) je založen na konektoru SMA. Byl navržen v polovině 70. let 20. století firmou Hewlett Packard, aby poskytoval robustní fyzické rozhraní, které by disponovalo populárními vlastnostmi konektoru SMA a umožnilo tisíce opakovaných spojení beze ztrát na výkonu. Vnější průměr tohoto konektoru je 3,5 mm a jeho název je definován na základě tohoto průměru. [16][24] [42]



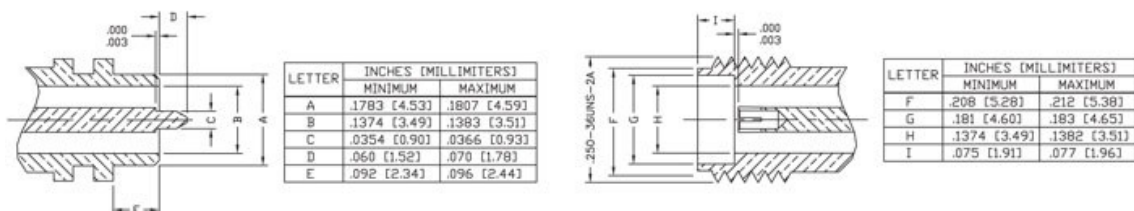
Obrázek 2.21: Samec (vlevo) a samice konektoru PC 3.5 mm [42]

Tabulka 2.8: Základní vlastnosti PC 3.5 mm [24][54]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	26,5 GHz, některé modely až 34 GHz
Impedance	50 $\Omega$
Typické SWR	$\leq 1.13$ do 26.5 GHz při použití RG405/U
Dielektrikum	Vzduch
Průměr vnějšího vodiče	3.5 mm
Doporučené utáhnutí	90 N cm

(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)

Tento konektor je kompatibilní s konektory SMA, ale je třeba být velmi obezřetný a hlídat si toleranci středového kolíku levnějších samců konektoru SMA, když se jej budete snažit připojit do samičky precizních konektorů (PC). Poškození tohoto konektoru by mohlo být dosti nákladné. [16][24] [42]



Obrázek 2.22: Okótovaný samec (vlevo) a samice PC 3.5 mm s tabulkami hodnot [41]

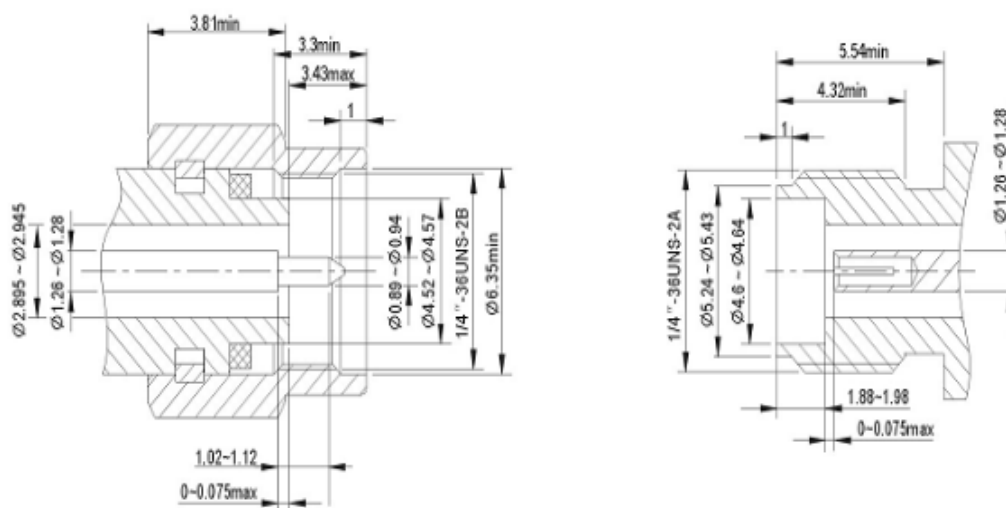


**Precizní konektor 2.92 mm**

Konektor PC 2.92 mm (viz Obrázek 1.29) byl vyvinut společností Wiltron, která jej představila v roce 1984. Konektor bývá označován jako "K", protože byl schopen zakrýt kmitočtové pásmo K. Používají se však i označení SMK (Sub-Miniature K) nebo konektor 2.9, případně 2.92 podle vnějšího průměru tohoto konektoru, který je 2.92 mm. [44]



Obrázek 2.23: SMK konektor (PC 2.92 mm) [43]



Obrázek 2.24: Okótovaný samec (vlevo a samice PC 2.92 mm [35]

Tabulka 2.9: Základní vlastnosti PC 2.92 mm [24][55]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	40 GHz
Impedance	50 $\Omega$
SWR při maximální frekvenci	$\leq 1.25$
Dielektrikum	Vzduch
Průměr vnějšího vodiče	2.92 mm

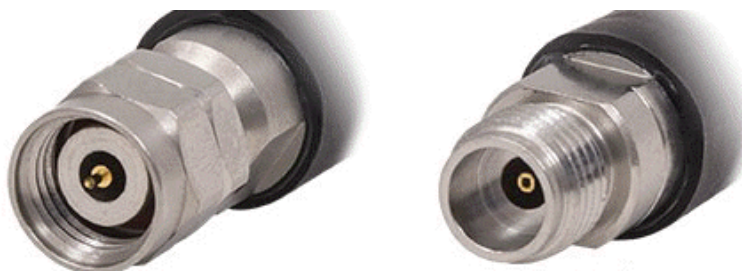
(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)



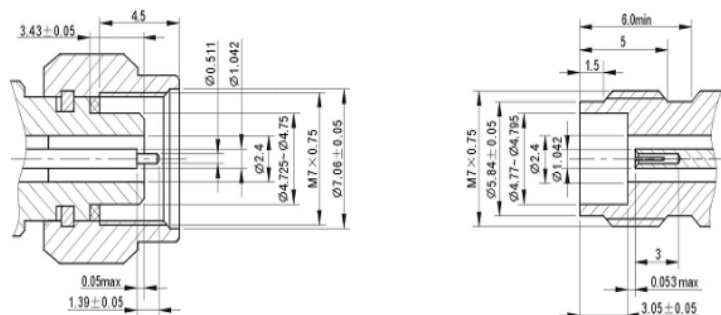
Tento konektor je odnož SMA konektoru, která poskytuje vynikající řešení pro náročné aplikace vyžadující vysokofrekvenční přenos. Rozdílem oproti SMA je mimo rozměrů také použití vzduchu jako dielektrika, stejně je tomu i u konektoru PC 3.5 mm. I díky použití vzduchu jako dielektrika bylo možné dosáhnout vyšší mezní frekvence, která se pohybuje okolo 40 GHz. Rozhraní konektoru PC 2.92 mm používá kratší zástrčkový čep tak, aby se tělesa konektoru vyrovnaly před tím, než se spojí. [16][24][44]

#### Precizní konektor 2.4 mm (PC 2.4 mm)

Jedná se o 50  $\Omega$ , precizní konektor určen pro použití na frekvencích do 50 GHz. Konektor byl vyvinut v roce 1986. U tohoto konektoru byla eliminována křehkost konstrukce, kterou se vyznačovali předchůdci SMA a SMK (PC 2.92 mm). Byla zesílena vnější stěna a zesílené bylo také centrum konektoru samičky, do kterého se zasunuje kolík z konektoru samec. Vnější vodič měří 2.4 mm a robustní stěna tělesa konektoru je navržena tak, aby zapadla před středním vodičem a zajistila tak opakované a spolehlivé spojení rozhraní. Samčí konektory jsou ještě opatřeny šestihrannou maticí, takže mohou být řádně utaženy za pomoci 8 mm klíče. Konektor je zobrazen níže na obrázku 2.25. [44]



Obrázek 2.25: Samec (vlevo) a samice PC 2.4 mm [43]



Obrázek 2.26: Okótovaný samec (vlevo) a samice PC 2.4 mm [35]

Tabulka 2.10: Základní vlastnosti PC 2.4 mm [24][56]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	50 GHz
Impedance	50 $\Omega$
SWR při maximální frekvenci	$\leq 1.20$
Dielektrikum	Vzduch
Průměr vnějšího vodiče	2.4 mm

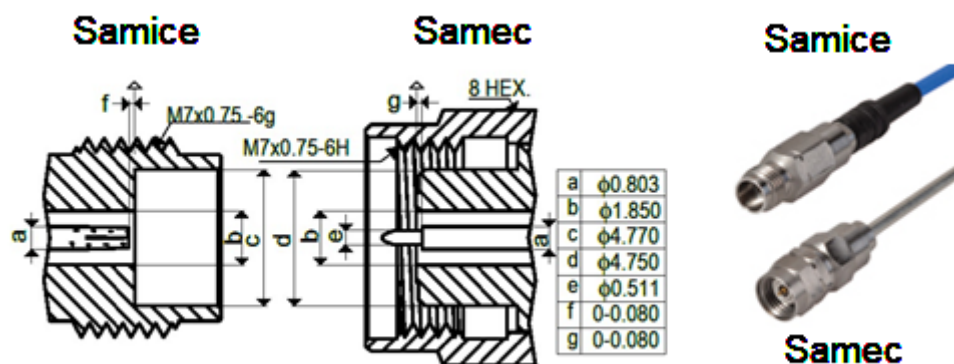
(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobcí a kvalitativním provedení měnit)

PC 2.4 mm, ale i jiné konektory jsou často nabízeny ve třech stupních:

- Univerzální použití: Je určeno pro hospodárné použití na součástech, kabelech a mikropáskových spojích, kde je přijatelná menší kvalita spojení a jeho nízká opakovatelnost.[24]
- Přístrojová třída: Je nejvhodnější pro aplikace, u kterých jsou opakovatelnost spojení a dlouhá životnost primárními parametry.[24]
- Metrologická třída: Je nejvhodnější pro kalibrační aplikace, kde je vyžadován co nejvyšší výkon a opakovatelnost spojení.[24]

### Precizní konektor 1.85 mm (PC 1.85 mm / SMV)

Konektor PC 1.85 (viz Obrázek 1.33) bývá označován také jako "V" konektor, protože pokrývá frekvenční pásmo V. Konektory PC 1.85 jsou určeny pro práci v milimetrovém vlnovém spektru. Konektor byl vyvinut v polovině 80. let, stejně jako většina PC konektorů primárně společností Hewlett Packard. Návrh konektoru byl pak v roce 1988 zveřejněn, aby podpořil standardizaci typů konektorů. Konektor byl navržen stejně jako PC 2.4 mm. Konektor je tedy také robustní a lze jej propojit s PC 2.4 mm. Oba tyto konektory se dají také pomocí 8 mm klíče utáhnout. Jedná se o jeden z nejmenších koaxiálních konektorů, který lze používat do frekvence až 67 GHz. [16][24]



Obrázek 2.27: Ukázka PC 1.85 mm a okótované rozhraní konektoru [46][47]

Tabulka 2.11: Základní vlastnosti PC 1.85 mm [24]

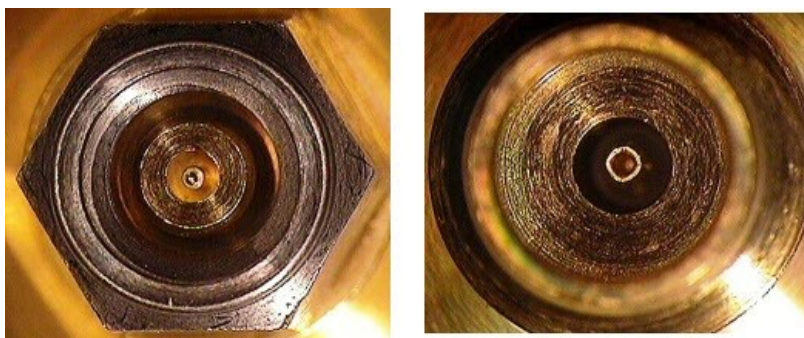
Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	67 GHz
Impedance	50 $\Omega$
SWR při maximální frekvenci	$\leq 1.28$
Dielektrikum	Vzduch
Průměr vnějšího vodiče	1.85 mm
Doporučené utáhnutí	90 N cm

(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)

**Precizní konektor 1.0 mm (PC 1.0 mm)**

Tento konektor byl vyvinut v roce 1989, nicméně z počátku zde pro něj nebylo tolik využití. Konektor se začal rozšiřovat až kolem roku 1996, kdy už existovali technologie a zařízení, s kterými mohl konektor pracovat. Rozměry tohoto konektoru jsou skutečně malé, ale to mu umožňuje fungovat na velmi vysoké provozní frekvenci, která se pohybuje okolo 110 GHz.

Tento konektor se může zdát být vzhledem k velikosti obzvláště křehký, nicméně mechanická spojka a velikost závitů byly navrženy tak, aby maximalizovaly pevnost a minimalizovaly tak možnost poškození vnitřního vodiče během spojovacího procesu. Tento konektor není kompatibilní s jinými. Celkově se dá říct, že poskytuje spolehlivé, flexibilní RF propojení pro extrémně vysoké frekvence. Tomu také odpovídá cena, která je v řádech deseti tisíců. [16][24][44]



Obrázek 2.28: Záběr z blízka na rozhraní samce (vlevo) a samičky PC 1.0 mm [16]

Tabulka 2.12: Základní vlastnosti PC 1.0 mm [24]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	110 GHz
Impedance	50 $\Omega$
SWR při maximální frekvenci	$\leq 1.25$
Dielektrikum	Vzduch
Průměr vnějšího vodiče	1.0 mm
Doporučené utáhnutí	34 N cm

(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)

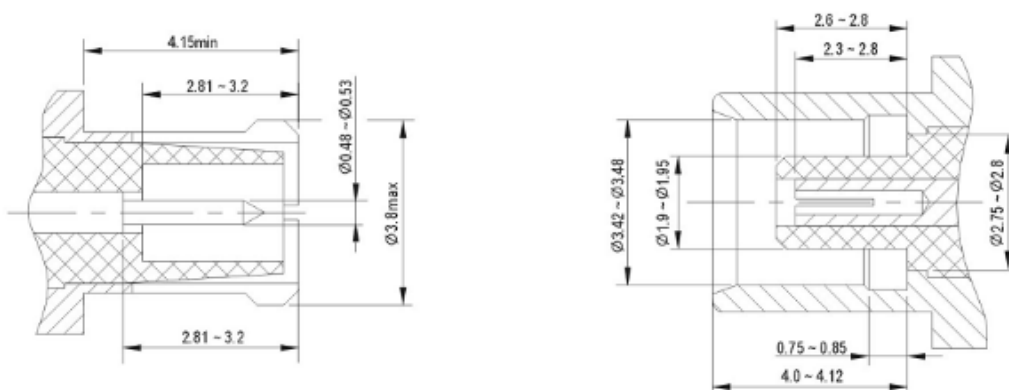
## 2.4 Mikro-miniaturní konektory

### MCX

Pojmenování tohoto konektoru pochází z kontrakce slov "Micro-CoaX". Tyto konektory byly vyvinuty v 80. letech. Malé rozměry umožnily velké uplatnění kupříkladu u datové telemetrie, GPS a dalších aplikací, které vyžadují co nejmenší rozměry a práci s frekvencemi do 6 GHz. Nezměrnou výhodou tohoto konektoru je kombinace vysoké kvality a zároveň nízké ceny. Konektory MCX (viz Obrázek 2.29) jsou ve variantách 50  $\Omega$  a 75  $\Omega$ . Další důležitou vlastností je schopnost přizpůsobit se širokému rozsahu miniaturních RG/U flexibilních koaxiálních kabelů. Disponují také "snap-on / snap-off" spojováním, které je rychlé a bezpečné.[19][23]



Obrázek 2.29: Samec (vlevo) a samice MCX konektoru [48]



Obrázek 2.30: Okótovaný samec (vlevo) a samice MCX konektoru [35]

Tabulka 2.13: Základní vlastnosti MCX konektoru [19][23]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	6 GHz
Impedance	50 $\Omega$ , 75 $\Omega$
SWR	Pro 0-4 GHz $\leq 1.25$ Pro 4-6 GHz $\leq 1.35$
Vložné ztráty	0.10 dB při 1 GHz
Dielektrikum	PTFE
Průměr konektoru	3.6 mm

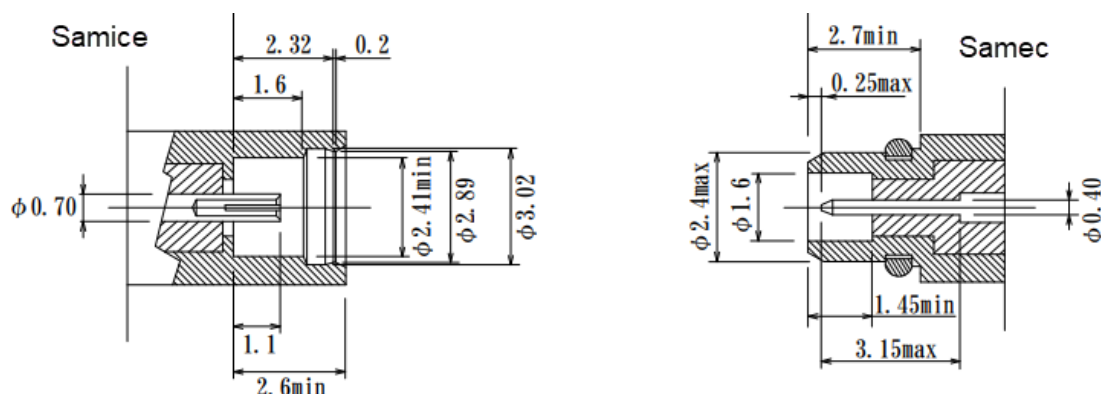
(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)

## MMCX

Jedná se o RF koaxiální konektory velmi podobné MCX, které byly vyvinuty v 90. letech 20. století. Konektor je stejně jako MCX v 50 i 75  $\Omega$  verzi, ale varianta s vyšší impedancí se moc nepoužívá. Pracovní frekvence konektoru je až 6 GHz. Zůstal zde rychlý a bezpečný způsob spojování pomocí "snap-on / snap-off". Jako jeho předchůdce nachází využití ve Wi-Fi zařízeních, GPS, a dalších systémech. Konektor je k vidění na obrázku 2.31.[14][50]



Obrázek 2.31: Samec (dole) a samice MMCX konektoru [37]



Obrázek 2.32: Okótovaný samec (vpravo) a samice MMCX konektoru [35]

Tabulka 2.14: Základní vlastnosti MMCX konektoru [50]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	6 GHz
Impedance	50 $\Omega$ , 75 $\Omega$
SWR	Pro 0-4 GHz $\leq 1.25$ Pro 4-6 GHz $\leq 1.40$
Výkon na $f = 1$ GHz	60 W (v CW módu)
Dielektrikum	PTFE
Vnější průměr	2.4 mm
Minimální odolnost	500 cyklů spojení

(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)

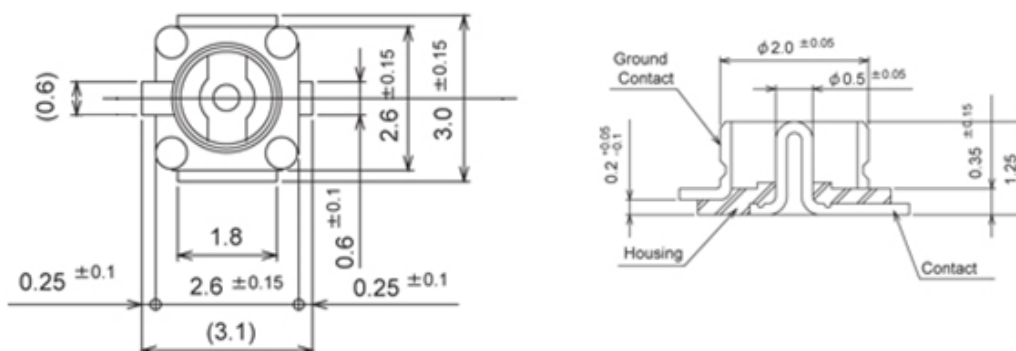
## 2.5 Ultra miniaturní koaxiální konektory (UMMC)

## U.FL

Jedná se o jeden z novějších konektorů, který může být špatně dohledatelný, protože většina výrobců pro něj má svůj název. Další označení jsou kupříkladu AMC (Amphenol Micro Coaxial) connector, dále IPX, IPEX nebo UMCC (Ultra Miniature Coaxial Connector). Konektory U.FL (viz Obrázek 2.33) se běžně používají v aplikacích, kde je důležitý prostor, nejčastěji je najdeme v počítačích a v systémech GPS, IEEE802.11a/b/g/n (Institute of Electrical and Electronics Engineers) - jedná se o standardy Wi-Fi, WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access - obdoba Wi-fi), Bluetooth, iBurst, ZigBee a další. Tyto konektory nejsou navrženy pro opětovné připojování a odpojování. Jejich výdrž je v tomto ohledu někde okolo 30 spojení a rozpojení. Po překročení tohoto počtu opakovaného spojování se může projevit opotřebení, a s tím i zhoršující se parametry konektoru. Vzhledem k tomu, že se většinou používají uvnitř komplexních zařízení, které se moc často nerozebírají, je tato výdrž dostatečná. Pro laboratorní použití, kde dochází k připojování a odpojování relativně často, by to však bylo nedostačující. Samice tohoto konektoru se většinou neprodávají samostatně, ale spíše jako součást pigtailu s vysoce kvalitním dvojité stíněným kabelem o tloušťce 1.32 mm, což umožňuje připojení s nízkou ztrátou. Samčí konektory jsou pak namontovány na povrchu a pájeny přímo na desku s plošnými spoji, prodávají se však samostatně, s možností připájet si tento konektor na libovolný plošný spoj. U.FL je navržen tak, aby měl charakteristickou impedanci 50  $\Omega$ . Uskutečněné spojení je pouze 2.5 mm vysoké a zabírá pouhých 9 mm čtverečních obvodové desky. [52][53]



Obrázek 2.33: Samice (vlevo) a samec U.FL konektoru [51]



Obrázek 2.34: Pohled shora a na boční průřez samce U.FL konektoru [36]

U.FL jakožto novější konektor používá jiná dielektrika než starší typy konektorů. Používá se zde LCP (Liquid Crystal Polymer-Polymery tekutých krystalů) a PBT (Polybutylene Terephthalate-Polybutylen tereftalát). LCP je stejně jako PTFE bílé, ale PBT je černé, takže jej lze rozeznat od ostatních dielektrik.

Tabulka 2.15: Základní vlastnosti U.FL [52]

Parametry	Hodnoty
Maximální frekvence	6 GHz
Impedance	50 $\Omega$
SWR	Pro 0-3 GHz $\leq 1.3$ Pro 3-6 GHz $\leq 1.50$
Dielektrikum	LCP, PBT

(Některé parametry se mohou v závislosti na výrobci a kvalitativním provedení měnit)

## 2.6 Srovnání vlastností vybraných konektorů

Pro lepší přehled je zde tabulka 2.16, ve které jsou základní a důležité parametry, pro vybrané konektory.

Tabulka 2.16: Souhrnná tabulka parametrů vybraných konektorů

[2][3][9][10][18][19][21][22][23][24][29][35][50][54][55][56][58]

Název konektoru	Maximální kmitočet [GHz]	Impedance [ $\Omega$ ]	Průměr [mm]	SWR při maximálním kmitočtu	Dielektrikum
F	3	75	11	1.3	PTFE
BNC	4	50, 75	14.5	1.3	PTFE
MCX	6	50, 75	3.8	1.35	PTFE
MMCX	6	50, 75	2.4	1.4	PTFE
UFL	6	50	2	1.35	LCP / PBT
DIN 7/16	7.5	50	16	1.3	Vzduch
QN	11	50	11.1	1.3	Vzduch
TNC	11 (18)	50, 75	15	1.3	PTFE
N	11 (18)	50, 75	7	1.3	PTFE
APC-7	18	50	7	1.05	Vzduch
QMA	18	50	4.11	1.3	PTFE
SMA	18 (24, 26.5)	50	4.4	1.3	PTFE
RP-SMA	18 (24, 26.5)	50	4.4	1.3	PTFE
PC 3.5 mm	26.5 (34)	50	3.5	1.13	Vzduch
PC 2.92 mm	40	50	2.92	1.37	Vzduch
PC 2.4 mm	50	50	2.4	1.2	Vzduch
PC 1.85 mm	67	50	1.85	1.2	Vzduch
PC 1.0 mm	110	50	1.0	1.25	Vzduch

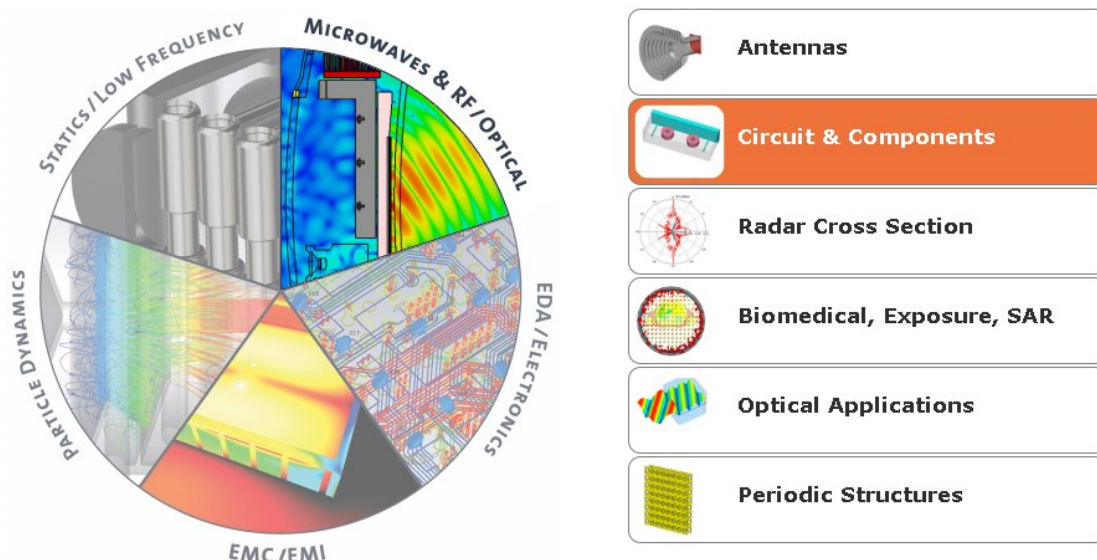
Je zde uveden typický maximální kmitočet jednotlivých konektorů, v závorce pak může být uveden kmitočet, který je u některých, zpravidla precizních verzí těchto konektorů vyšší. Dále se v tabulce uvádí, jakou má konektor impedanci. U některých konektorů se mohou vyskytovat dvě hodnoty, to znamená, že konektor je dostupný ve variantě 50, ale i 75  $\Omega$ . Jako další parametr je vnitřní průměr vnějšího vodiče, z něhož si můžeme udělat představu o velikosti konektoru. Dalším parametrem je SWR. Zde je uváděno typické SWR při maximálním kmitočtu. Jedná se však spíše o orientační údaj. SWR se totiž mění v závislosti na kvalitě zpracování konektoru, ale vliv má kupříkladu i jestli se jedná o přímou nebo pravoúhlou variantu. Jako poslední je uvedeno používané dielektrikum u konkrétních konektorů.

Z tabulky lze vypořádat, že zde probrané precizní konektory používají téměř výhradně jako dielektrikum vzduch. Mezi ostatními je pak nejrozšířenější dielektrikum PTFE. Nejvyšší možné SWR při maximálním kmitočtu se pohybuje pod hodnotou 1.4. Dále pak 50 $\Omega$  konektory převažují nad těmi 75 $\Omega$ .



### 3 CST Studio

Jedná se o pokročilý, proprietární software určený k modelování různých komponent a následné simulaci jejich chování a vlastností. CST Studio zahrnuje 5 různých modulů, v této bakalářské práci je použit modul "Microwaves & RF/Optical" (modul mikrovlnných a radiofrekvenčních nebo optických technologií), který je dále rozdělen do několika specifitějších bloků viz obrázek 3.1.

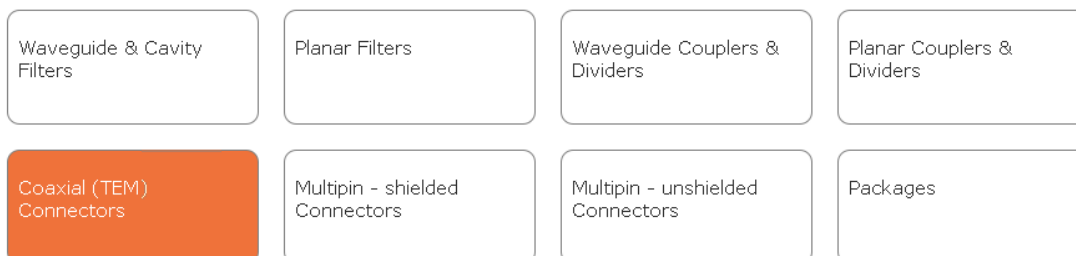


Obrázek 3.1: Moduly v CST Studiu (vlevo) a další dělení modulu Microwaves & RF/Optical

Z těchto bloků je pro tvorbu modelů v této práci použit blok "Circuit & Components" (obvody a komponenty), kde je už poslední a konkrétní dělení toho, co chceme modelovat viz obrázek 1.45. Mnou zvolená možnost je "Coaxial (TEM) Connectors" (koaxiální (TEM) konektory), která je zvýrazněná oranžovou barvou.

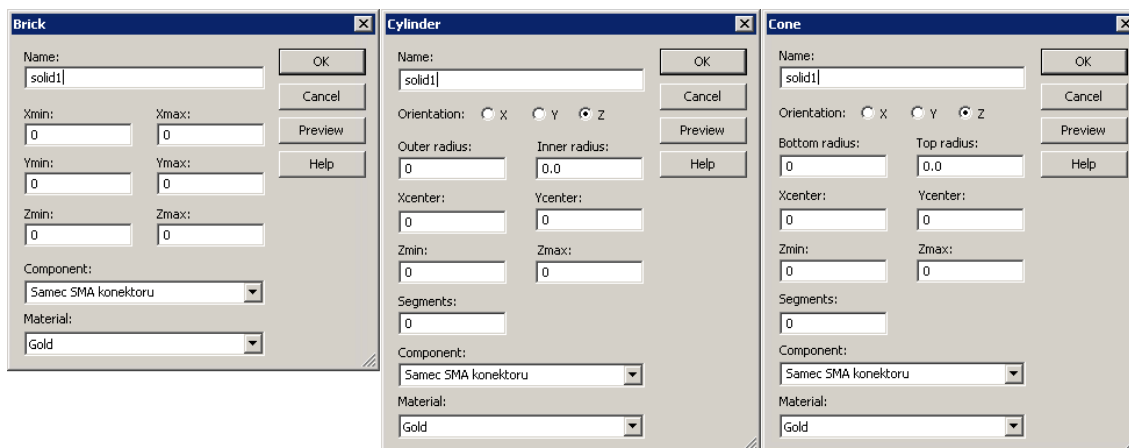
MW & RF & OPTICAL | Circuit & Components

Please select a workflow:



Obrázek 3.2: Výběr objektu, který chceme modelovat

Modelování probíhá pomocí pěti základních tvarů. Čtyřhran, válec (klasický i eliptický), kužel, koule a kruh. Já jsem při vytváření mých modelů použil 3 z těchto tvarů, kostka (brick), válec (cylinder) a kužel (cone). Na obrázku 3.3 lze vidět způsob, jakým se tyto tvary vytvářejí. Jednotlivé hodnoty nemusí být zadávány číselnou formou, ale lze vytvořit i proměnné, kterým se přiřadí hodnoty a při tvorbě objektů pak můžeme používat tyto proměnné.

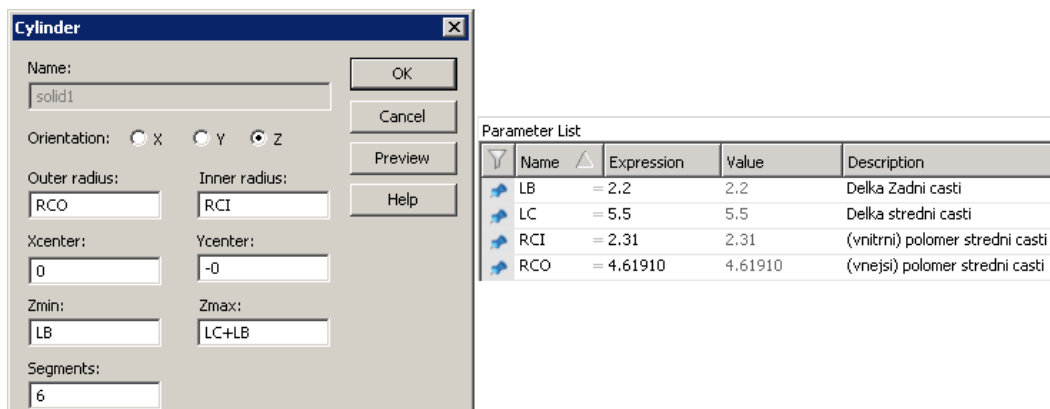


Obrázek 3.3: Tabulky pro vytváření objektů, zleva kostka, válec a kužel

U kostky jsme schopni pomocí minimální (min) a maximální (max) hodnoty pro každou z os (x, y, z) vytvořit nejen pravidelnou kostku, ale i kvádr.

U válce pak lze pomocí vnějšího (Outer radius) a vnitřního (Inner radius) poloměru určit, jaký průměr válec bude mít, jestli bude plný nebo bude vypadat jako trubka. Pomocí středu X a Y (Xcenter, Ycenter) ukotvíme válec v prostoru. Následně hodnotami Zmin a Zmax se určí délka tohoto válce. Pomocí počtu segmentů (segments) jsme pak schopni vytvořit kupříkladu šestihran (obrázek 3.4) nebo jiný N-hran. Při tvorbě šestihranu bylo nutné vypočítat hodnotu vnějšího poloměru pomocí pythagorovy věty.

Tvorba kuželu pak funguje velmi podobně jako válce, jediný rozdíl je, že místo vnějšího a vnitřního poloměru zadáváme poloměr spodní podstavy a poloměr vrcholu kuželu.



Obrázek 3.4: Tabulka k vytvoření šestihranu (vlevo) s listem použitých proměnných

Použití proměnných, jak je ukázáno na obrázku 3.4, je pro další úpravy pohodlnější, než kdybychom používali jen číselné vyjádření hodnot. Hlavní přínos je u sousedících objektů, které mají společnou hranu. Stačí jim na tuto společnou hranu nastavit stejnou proměnnou a není pak třeba objekty upravovat jednotlivě, ale změní se jen hodnota proměnné.

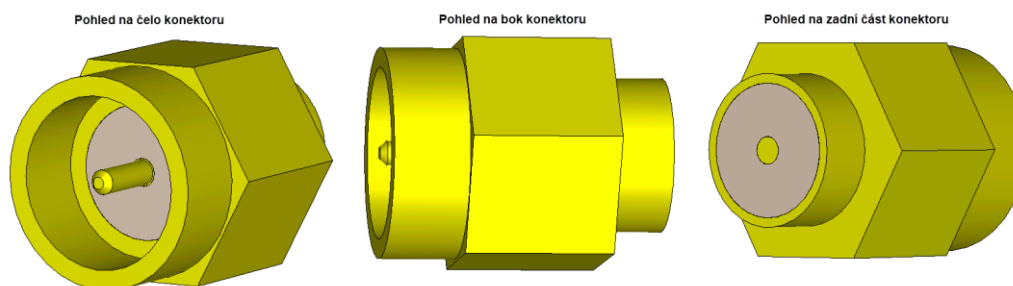
### 3.1 SMA konektor

U návrhu a výroby antén a dalších systémů, pracujících s rádiovými frekvencemi do 20 GHz, se nejčastěji používá jako propojovací prvek SMA konektor. Z tohoto důvodu je v této práci hned několik různých modelů SMA konektoru. Modely pro potřeby simulace nebývají opticky a někdy i rozměrově stejné jako skutečné konektory. Vytvořil jsem tedy u samce i samice SMA konektoru modely, které jsou vhodné pro simulace, ale i modely, které jsou opticky věrohodné skutečným konektorům. Konkrétně jsem vytvořil tyto SMA modely:

- simulační a opticky věrohodný model samce SMA konektoru
- simulační a opticky věrohodný model samičky SMA konektoru standardní kvality ve verzi pro přidělení k desce s plošnými spoji
- simulační konektor samičky SMA konektoru v precizní kvalitě ve verzi pro přidělení k desce s plošnými spoji

#### 3.1.1 Samec SMA

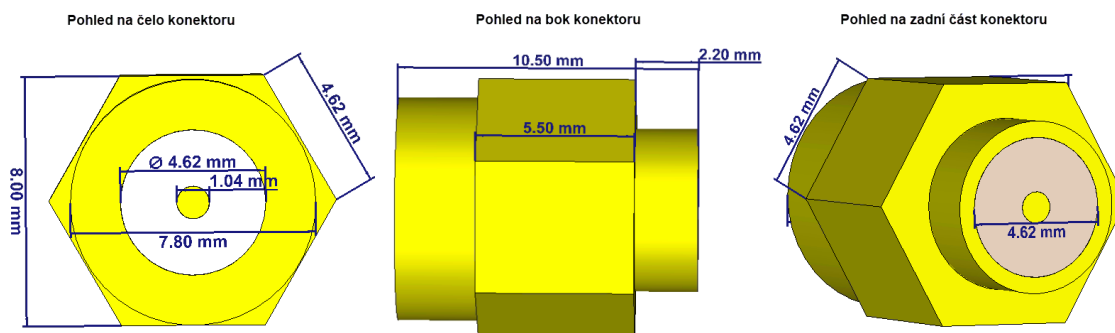
Jako první jsem začal modelovat samce konektoru SMA, který našel využití v další bakalářské práci (BP) jiného studenta, zabývající se tématem návrhu antén. V této práci student modeloval návrh své antény v CST Studiu. K modelu své antény přidal mnou vytvořený konektor na obrázku 3.4 a prováděl v CST Studiu simulace a optimalizaci antény i s připojeným konektorem. Vymodeloval jsem dvě verze toho konektoru, simulační a opticky věrohodnou kopii.



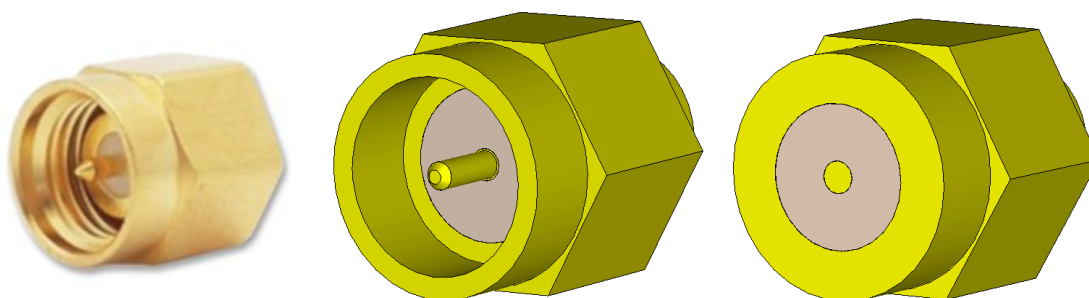
Obrázek 3.3: Pohled na opticky věrohodný model samce SMA konektoru ze tří stran

Rozdíl mezi těmito různými variantami modelu spočívá v provedení čela konektoru. U simulačního modelu musí být všechny části v čele konektoru zarovnané pro správnou funkci. To znamená, že dielektrikum i pin konektoru musí končit zároveň s vnější částí konektoru. Dále byl vnější kontakt konektoru rozšířen tak, aby doléhal přímo na dielektrikum. Těmito úpravami docílíme toho, že získáme takový průřez konektoru, jako když bychom spojili samce a samici

SMA konektoru. Na tuto zarovnanou plochu se pak při simulacích připojí napájení. Na obrázku 3.5 lze krásně vidět rozdíly mezi simulačním a vizuálním modelem a je zde pro porovnání i obrázek skutečného konektoru.



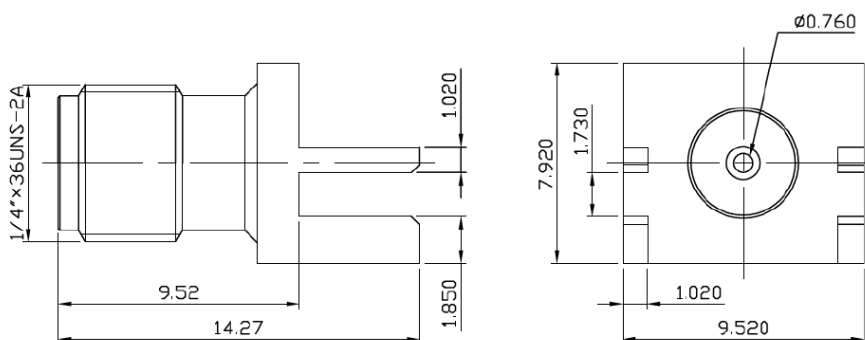
Obrázek 3.4: Pohled na simulační model samce SMA konektoru ze tří stran i se zobrazenými rozměry různých částí konektoru



Obrázek 3.5: Porovnání čel skutečného samce SMA konektoru [63], opticky věrohodného modelu a simulačního modelu

### 3.1.2 Samice SMA konektoru (atd-elektronik)

Jako další jsem vytvářel model samice SMA konektoru částečně z kresby označené SMA-5205-TGG pod titulem SMA PCB MOUNT FEMALE CONNECTOR vyráběný firmou SCHMID-M.

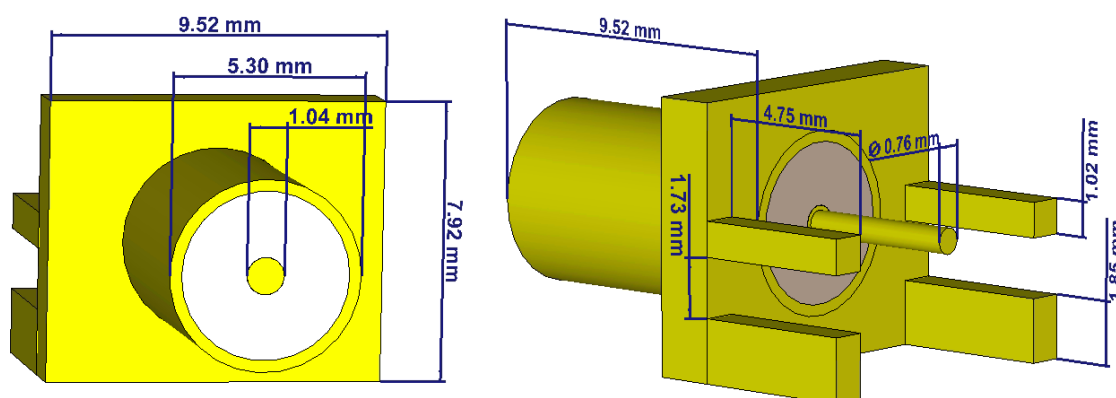


Obrázek 3.6: Kresba SMA-5205-TGG od výrobce konektoru SCHMID-M

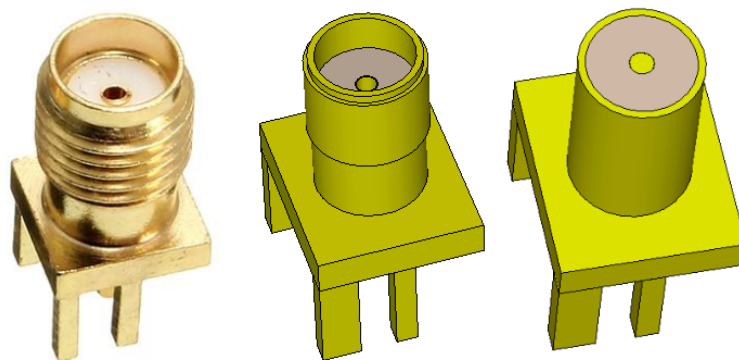
Měl jsem z VŠB-TUO zapůjčený i skutečný konektor v tomto provedení, čímž jsem získal možnost změřit části, které nebyly v kresbě vyznačeny.

Jedná se o konektor standartního zpracování, co se kvality týče, a je určen pro připojení k obvodové desce. Konektor se na obvodovou desku zasune tak, že deska bude mezi nožičkami konektoru. Konektor pak bývá k desce z pravidla připájen.

Simulační a opticky věrohodná verze modelu se stejně jako u samce SMA konektoru liší v provedení čela. Zbytek konektoru je prakticky identický.



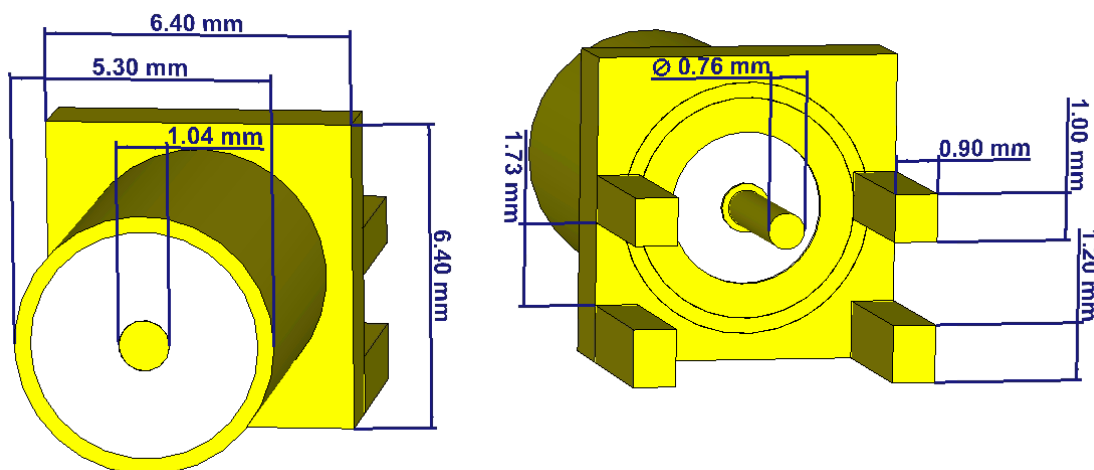
Obrázek 3.7: Pohled na čelo a zadní část simulačního modelu SMA samice s vyznačenými rozměry



Obrázek 3.8: Pohled na čelo reálného, opticky věrohodného modelu a simulačního modelu SMA samice (zleva)

### 3.1.3 Precizní samice SMA konektoru (Mouser)

Jako poslední ze série SMA konektorů jsem modeloval simulační verzi precizní samice SMA konektoru od firmy Mouser. Modelování jsem prováděl na základě zapůjčeného konektoru, který jsem si přeměřil pomocí digitálního posuvného měřítka. Čelo konektoru bylo prakticky stejné jako u předchozí SMA samice. Hlavní rozdíl spočíval v podstavě konektoru a rozměru nožiček, které slouží k nasazení konektoru k desce s plošnými spoji.



Obrázek 3.9: Pohled na čelo a zadní část modelu precizní SMA samice

## 3.2 U.FL

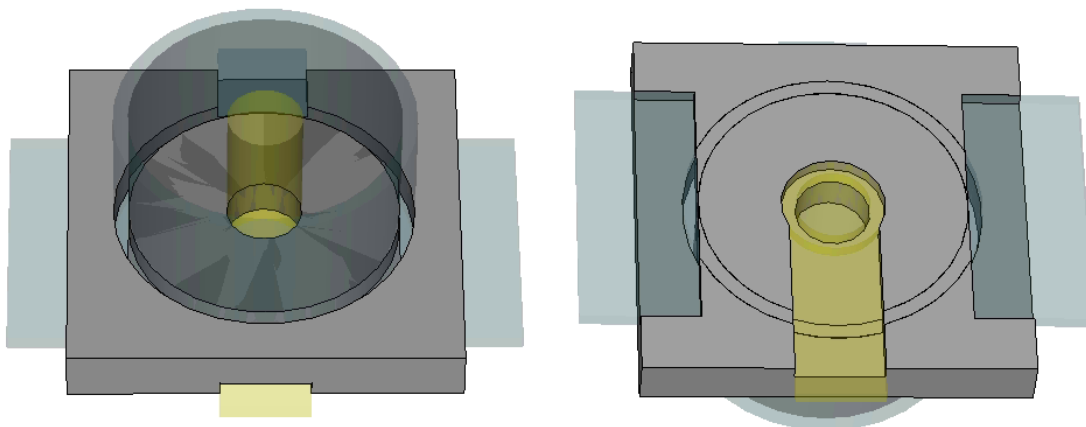
Úplně poslední model, který jsem vytvářel, byl model U.FL konektoru, který je dnes díky své velikosti a maximální pracovní frekvenci kolem 6 GHz hojně využíván, a to i na naší univerzitě, což je důvod, proč byl vybrán k modelování. U.FL používá oproti ostatním běžným konektorům jiné typy dielektrika, které nebyly vytvořeny v knihovnách CST Studia. Musel jsem tedy v CST Studiu vytvořit materiál LCP a PBT. Pro vytvoření těchto materiálů bylo potřeba zjistit jejich permitivitu a hustotu.

Tabulka 1.1: *Permitivita a hustota dielektrických materiálů používaných u U.FL konektoru*

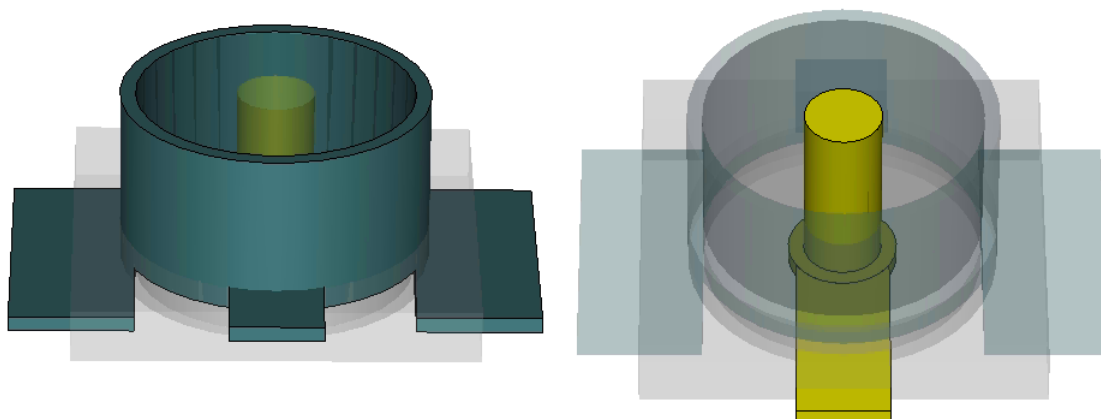
	LCP	PBT
Permitivita	3.1	3.2
Hustota materiálu	1450 kg/m <sup>3</sup>	1310 kg/m <sup>3</sup>

Samec U.FL je tvořen ze spojených vnějších kontaktů, které obklopují pin konektoru, to vše je jakoby zalité do dielektrika (LCP). Jako první byla vytvořena dielektrická deska, ze které

se postupně vyřezávali části, ve kterých se nacházejí vnější nebo vnitřní kontakty, a následně se do těchto prázdných míst vytvořily ony objekty (viz obrázek 3.10). Na obrázku 3.11 jsou pak zvýrazněny vnější a vnitřní kontakty. Toto zvýraznění probíhá na základě zvoleného materiálu. Kdy pro podstavu je použito LCP, na vnější kontakty fosforová bronz a na vnitřní kontakt mosaz.



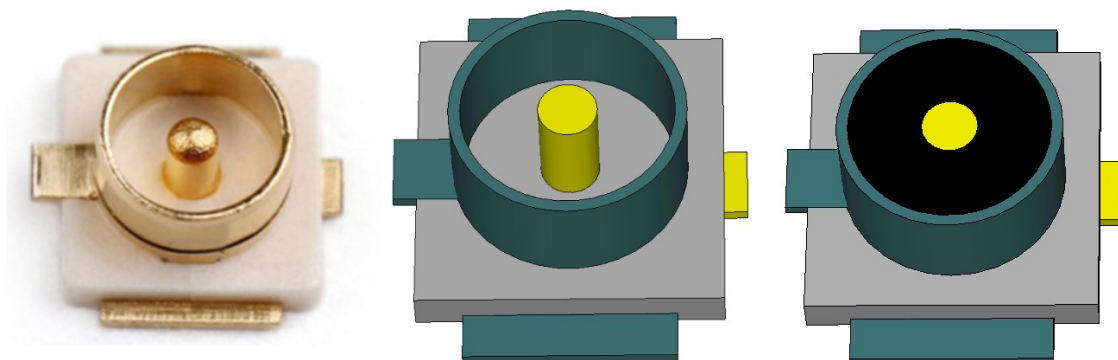
Obrázek 3.10: Pohled shora (vlevo) a zespod, na výrazněnou podstavu U.FL konektoru, tak aby bylo možné vidět výřezy pro kontakty konektoru



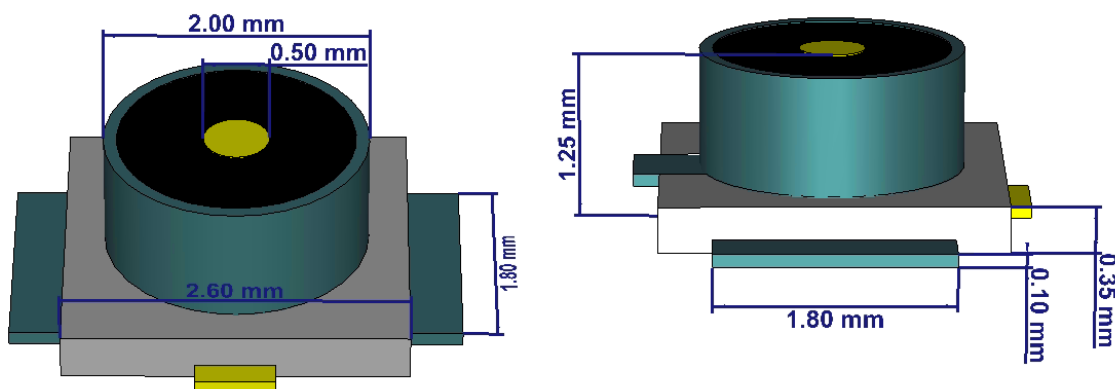
Obrázek 3.11: U.FL konektor s výrazněným vnějším kontaktem (vlevo) a vnitřním kontaktem

U tohoto konektoru jsem opět vytvořil simulační model a opticky věrohodný model. Tyto modely je možné shlédnout na obrázku 3.12, kde jsou k porovnání spolu s fotkou

skutečného konektoru. Na obrázku 2.34 je pak schéma konektoru, ze kterého jsem při tvorbě vycházel. Můj model s výrazněnými rozměry je pak na obrázku 3.13.



Obrázek 3.12: Simulační (vpravo) a opticky věrohodný model v porovnání s fotkou [65] U.FL (vlevo)



Obrázek 3.13: Simulační model U.FL s výrazněnými rozměry



## Závěr

V této práci se mi podařilo podrobně popsat jak, a pomocí kterých parametrů se konektory dělí. Jsou zde také zmíněny vlastnosti, a následně i široký přehled různých VF konektorů. V tabulce 2.16 je uveden souhrn důležitých parametrů vybraných konektorů.

Hlavním cílem této však práce bylo vytvoření čtyř simulačních modelů RF konektorů používaných na naší univerzitě. Jedná se o samce SMA konektoru, dvě samice SMA konektoru. Jedna je ve standardní a druhá v precizní kvalitě, obě jsou však určeny pro připojení k desce s plošnými spoji. Posledním konektorem je samec U.FL konektoru, který je určen především pro desky s plošnými spoji.

Všechny modely byly tvořeny v CST Studiu za pomoci proměnných, a lze je tedy v případě nutnosti modifikovat, případně je možno z nich vycházet u tvorby nových modelů.

Tyto modely mohou být použity jako součást komplexnějších zařízení, které používají RF konektory nebo mohou být použity u návrhů antén, a pomoci dosáhnout přesnějšího impedančního přizpůsobení antén. Návrh a výroba různých typů antén bývá často zadávána jako bakalářská či diplomová práce. Lze tedy předpokládat, že mnou vytvořené a zde popsané modely budou hojně používány u těchto prací, ale nejen u nich.

## Použitá literatura

- [1] Přehled RF konektorů. RF CONNECTORS: A Full Spectrum of RF Solutions [online]. Schaffhausen: TE Connectivity, ©2015, 01/2015 [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srch\\_rtrv&DocNm=1-1773850-7\\_rf\\_qrg&DocType=DS&DocLang=EN](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srch_rtrv&DocNm=1-1773850-7_rf_qrg&DocType=DS&DocLang=EN)
- [2] DIN 7/16. Radiall [online]. Aubervilliers (Francie): Radiall, c2018 [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <https://www.radiall.com/products/rf-coaxial-connectors/screw-on-connectors/din-7-16.html>
- [3] Konektor 7/16. Amphenol RF: RF Connectors [online]. Danbury (USA): Amphenol RF, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.amphenolrf.com/connectors/7-16.html>
- [4] Přehled RF konektorů. IEEE GlobalSpec: RF and Microwave Connectors Information [online]. New York: GlobalSpec, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: [https://www.globalspec.com/learnmore/communications\\_networking/rf\\_micro\\_wave\\_wireless\\_components/rf\\_connectors](https://www.globalspec.com/learnmore/communications_networking/rf_micro_wave_wireless_components/rf_connectors)
- [5] Zásuvky. Redukce zásuvky, cestovní adaptéry: Typy zásuvek ve světě [online]. <http://zasuvky.eu/>, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <http://zasuvky.eu/>
- [6] Techopedia: USB Connector [online]. Techopedia, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/25899/usb-connector>
- [7] Struktura konektoru. In: Keysight Technologies: Connector Structure [online]. Keysight, c2000-2018 [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: [http://na.support.keysight.com/pna/connectorcare/Connector\\_Structure.htm](http://na.support.keysight.com/pna/connectorcare/Connector_Structure.htm)
- [8] Keysight Technologies: An Adapter Removal Calibration Method to Measure 50Ω to 75Ω Devices [online]. Santa Rosa (USA): Keysight, c2000-2018 [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <https://www.keysight.com/main/editorial.jsp?ckey=434725&id=434725&nid=-11143.0.00&lc=eng&cc=CZ>
- [9] N-type Connector [online]. London: Electronics Notes [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: [https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/rf-connectors/n-type-connector.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/rf-connectors/n-type-connector.php)
- [10] Halberd Bastion Consulting: 7 mm (APC-7) [online]. Brisbane (Austrálie): Halberd Bastion, c2018 [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <https://halberdbastion.com/hardware/rf-connectors/rf-connector-series/7-mm-apc-7>

- [11] DAS, Annapurna a Sisir DAS. Microwave Engineering. 2nd. New York: McGraw-Hill College, 2009. ISBN 9780070667389.
- [12] Konektory BNC. Electronics-notes: BNC Connector [online]. South East, England: electronics-notes, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: [https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/rf-connectors/bnc-connector.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/rf-connectors/bnc-connector.php)
- [13] Customcableconnection [online]. Farmers Branch (USA): Custom Cable Connection, c2015 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://www.customcableconnection.com/6ft-bnc-right-angle-male-to-bnc-female-rg179-75-ohm.html>
- [14] Přehled RF konektorů a koaxiálních kabelů. Telco Antennas: Guide to Antenna Cables & Connectors [online]. Hemmant (Austrálie): Telco Antennas, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.telcoantennas.com.au/buying/guide-to-cables-reels-and-assessorries/guide-to-antenna-cables-connectors/>
- [15] Konektor typu F. Amphenolrf [online]. Danbury (USA): amphenolrf, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.amphenolrf.com/connectors/f-type.html>
- [16] Precizní konektory. Microwaves101: Precision Connectors [online]. Tucson (USA): microwaves101, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.microwaves101.com/encyclopedias/precision-connectors>
- [17] Konektor SMA. Amphenolrf: SMA CONNECTOR SERIES [online]. Danbury (USA): Amphenolrf, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.amphenolrf.com/connectors/sma.html>
- [18] Konektor BNC. Amphenolrf: BNC CONNECTOR SERIES [online]. Danbury (USA): Amphenolrf, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.amphenolrf.com/connectors/bnc.html>
- [19] Konektor MCX. Amphenolrf: MCX CONNECTOR SERIES [online]. Danbury (USA): Amphenolrf, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: <https://www.amphenolrf.com/connectors/mcx.html>
- [20] Konektory SMA. Electronics-notes: SMA RF Connector [online]. South East, England: electronics-notes, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: [https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/rf-connectors/sma-connector.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/rf-connectors/sma-connector.php)
- [21] Konektory TNC. Electronics-notes: TNC Connector [online]. South East, England: electronics-notes, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: [https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/rf-connectors/tnc-connector.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/rf-connectors/tnc-connector.php)

- [22] Amphenol RF: N-TYPE CONNECTOR SERIES [online]. Danbury (USA): Amphenol RF, c2018 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://www.amphenolrf.com/connectors/n-type.html>
- [23] Konektory MCX. Electronics-notes: MCX RF Connector [online]. South East, England: electronics-notes, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: [https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/rf-connectors/mcx-connector.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/rf-connectors/mcx-connector.php)
- [24] Přehled precizních konektorů. Electronics-notes: Precision Connectors: PC 3.5 mm, PC 2.92 mm, etc [online]. South East, England: electronics-notes, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: [https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/rf-connectors/precision-connectors-series-pc.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/rf-connectors/precision-connectors-series-pc.php)
- [25] Konektory typu F. Electronics-notes: F Type Connector for TV Coax Cables [online]. South East, England: electronics-notes, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: [https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/rf-connectors/f-type-coax-cable-connector.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/rf-connectors/f-type-coax-cable-connector.php)
- [26] RF koaxiální konektory. Electronics-notes: RF Coax Connectors [online]. South East, England: electronics-notes, c2018 [cit. 2018-12-20]. Dostupné z: [https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/rf-connectors/coax-cable-connectors.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/rf-connectors/coax-cable-connectors.php)
- [27] Electronics-notes: BNC Connector [online]. South East, England: Electronics-notes, c2018 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: [https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/rf-connectors/bnc-connector.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/rf-connectors/bnc-connector.php)
- [28] Thenetworkencyclopedia: 10Base2 [online]. Viana do Castelo (Portugalsko): Ciberforma [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <http://www.thenetworkencyclopedia.com/entry/10base2/>
- [29] Amphenolrf: TNC CONNECTOR SERIES [online]. Danbury (USA): Amphenolrf, c2018 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://www.amphenolrf.com/connectors/tnc.html>
- [30] Megalithia: How to wire a Belling-Lee connector [online]. M E g A L i T h i A, c2003 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <http://www.megalithia.com/elect/bellinglee/>
- [31] What the Belling-Lee connector looks like. In: Wikipedia: TV aerial plug [online]. Wikipedia [cit. 2018-12-26]. Dostupné z:

[https://en.wikipedia.org/wiki/TV\\_aerial\\_plug#/media/File:IEC\\_169-2\\_male\\_and\\_female\\_connector.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/TV_aerial_plug#/media/File:IEC_169-2_male_and_female_connector.JPG)

- [32] Amphenolrf: F-Type Connectors [online]. Danbury (USA): Amphenolrf, c2018 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://www.amphenolrf.com/connectors/f-type.html?gender=6&p=2>
- [33] Amazon [online]. Seattle (USA): Amazon, c1996-2018 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Connector-LMR-195-Coaxial-Antenna-RF/dp/B00AU5S2JG>
- [34] Radiall: QMA [online]. Aubervilliers (Francie): Radiall, c2018 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://www.radiall.com/products/rf-coaxial-connectors/quick-lock-and-secure-connectors/qma.html>
- [35] RF COAXIAL CONNECTORS [online]. Si-an (PRC): Xi'an Shenghao Electronic [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <http://www.sh-connector.com/>
- [36] RFconnector: IPX Connectors [online]. San Diego (USA): Lighthouse Technologies, c2018 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <http://www.rfconnector.com/ipx-connectors.php>
- [37] MMCX Female on RG316DS Double Shielded to MMCX Male Cable Assembly [online]. New York: Field Components, c2018 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <https://fieldcomponents.com/MMCXF-RG316DS-MMCXM-Length.html>
- [38] Image of Technical Interface of QMA. In: Rfcoaxconnectors [online]. San Diego (USA): RF Connectors & RF Industries, c1979-2018 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <http://www.rfcoaxconnectors.com/image/img-tech-interface-QMA.jpg>
- [39] Enhanced Global Wireless & Energy Solutions: QN [online]. Germantown (USA): Shireen, c2017 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <https://www.shireeninc.com/product-list/adapters/qn/>
- [40] Amphenol RF: QN CONNECTOR SERIES [online]. Danbury (USA): Amphenolrf, c2018 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <https://www.amphenolrf.com/connectors/qn.html>
- [41] Image of Technical Interface of PC 3.5 mm. In: Rfcoaxconnectors [online]. San Diego (USA): RF Connectors & RF Industries, c1979-2018 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <http://www.rfcoaxconnectors.com/image/img-tech-interface-3-5.jpg>
- [42] Halberd Bastion Consulting: 3.5 mm [online]. Brisbane (Austrálie): Halberd Bastion, c2018 [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <https://halberdbastion.com/hardware/rf-connectors/rf-connector-series/35-mm>

- [43] Thorlabs: Electrical Adapters [online]. Newton (USA): Thorlabs, c1999-2018 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: [https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup\\_ID=289](https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_ID=289)
- [44] RF CONNECTORS FOR UPPER FREQUENCIES. In: Tor Vergata University of Rome [online]. Řím: Tor Vergata University of Rome, c2018, 2006 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: [http://www.uniroma2.it/didattica/SMM/deposito/RF\\_Connectors.pdf](http://www.uniroma2.it/didattica/SMM/deposito/RF_Connectors.pdf)
- [45] Transmission Media. In: POSwiki: Lecture slides: Lecture 1 [online]. Ostrava: VŠB-TUO [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <http://wiki.cs.vsb.cz/pos/images/6/63/Media.pdf>
- [46] HUBER+SUHNER: 1.85 [online]. Herisau (Švýcarsko): HUBER+SUHNER, c2018 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <https://www.hubersuhner.com/en/products/radio-frequency/connectors-adapters/precision-connectors-pc-1-85-pc-3-5-sk-sma/pc-1-85>
- [47] SHF Communication Technologies AG: FAQ SHF RF Connectors & Cables [online]. Berlin: SHF Communication Technologies [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <https://www.shf-communication.com/support/faq/faq-rf-connectors-cables/>
- [48] 1090Mhz Antenna MCX Plug Connector 2.5dbi Gains ADS-B Aerial with Magnet Base RG174 1M+MCX Female to SMA Male Adapter Connector. In: Importitall [online]. Durban (JAR): Importitall [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41WQtwo3y%2BL.jpg>
- [49] EverythingRF: 3.5 mm, 2.92 mm and SMA Connector Compatibility [online]. everything RF, c2015 [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://www.everythingrf.com/community/3-5-mm-2-92-mm-and-sma-connector-compatibility>
- [50] Amphenol RF: MMCX CONNECTOR SERIES [online]. Danbury (USA): Amphenol RF, c2018 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://www.amphenolrf.com/connectors/mmcx.html>
- [51] UFL. In: Sparkfun [online]. Niwot (USA): SparkFun Electronics [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: [https://cdn.sparkfun.com/tutorialimages/RF\\_Guide/UFL.jpg](https://cdn.sparkfun.com/tutorialimages/RF_Guide/UFL.jpg)
- [52] Amphenol RF: AMC CONNECTOR SERIES [online]. Danbury (USA): Amphenol RF, c2018 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://www.amphenolrf.com/connectors/amc.html>
- [53] Lighthouse Technologies: IPX Connector Dimensions [online]. San Diego (USA): Lighthouse Technologies, c2018 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <http://www.rfconnector.com/series-data.php#ipx>

- [54] RF Coaxial connectors General catalogue: Series PC 3.5 - technical data. In: HUBER+SUHNER: PC 3.5[online]. Herisau (Švýcarsko): HUBER+SUHNER, c2018 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://literature.hubersuhner.com/Technologies/Radiofrequency/RFCConnectorsEN/?page=208>
- [55] RF Coaxial connectors General catalogue: Series SK (2.92 mm standart) - technical data. In: HUBER+SUHNER: PC 3.5 [online]. Herisau (Švýcarsko): HUBER+SUHNER, c2018 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://literature.hubersuhner.com/Technologies/Radiofrequency/RFCConnectorsEN/?page=214>
- [56] 2.4mm Series Adapters & Connectors. In: Bel [online]. Jersey City (USA): Bel Fuse, c2017 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://www.belfuse.com/resources/catalogs/cinchconnectivitysolutions/johnson/ca-ccs-john-2.4mm-series-adapters-connectors.pdf>
- [57] Coaxial Connectors Navigator. Radiall: RF COAXIAL CONNECTORS [online]. Aubervilliers (Francie): Radiall, 2012, 2012 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: [https://www.radiall.com/media/wysiwyg/CoaxialConnectors\\_WEB.pdf](https://www.radiall.com/media/wysiwyg/CoaxialConnectors_WEB.pdf)
- [58] Metodika provozního měření: METODIKA PROVOZNÍHO MĚŘENÍ ELEKTRONICKÝMI PŘÍSTROJI S KOAXIÁLNÍMI KONEKTORY. Česká metrologická společnost, z.s.: Kalibrační postupy a publikace [online]. Praha: Česká metrologická společnost, 2018 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: [http://spolky.csvts.cz/cms/sites/default/files/mpm\\_4120418\\_elektronicke\\_pristroje\\_s\\_koaxialnimi\\_konektory.pdf](http://spolky.csvts.cz/cms/sites/default/files/mpm_4120418_elektronicke_pristroje_s_koaxialnimi_konektory.pdf)
- [59] N Plug 50 - 75. In: Wellshow [online]. Taoyuan (Taiwan): Wellshow Technology, c2019 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <http://www.wellshow.com/wp-content/uploads/2010/08/n-connector-plug-50-75.jpg>
- [60] N Jack 50 - 75. In: Wellshow [online]. Taoyuan (Taiwan): Wellshow Technology, c2019 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <http://www.wellshow.com/wp-content/uploads/2010/08/n-connector-jack-50-75.jpg>
- [61] N / Composite N / N 18 GHz series: INTERFACE N 75Ω. Radiall - Innovator of Interconnect Components & More [online]. Aubervilliers (Francie): Radiall, c2018 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.radiall.com/media/files/N%20D1C004XEe.pdf>
- [62] Konektory používané ve wifi-technice: TNC. In: Digitální střípky - Tipy a triky [online]. Česká republika: cestuji.info [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: [www.it.cestuji.info/wifi-konektory.php](http://www.it.cestuji.info/wifi-konektory.php)

- [63] [132360 - Příslušenství Konektoru, Zakončovací Zástrčka, 50 Ohm, SMA Koaxiální]. In: [Farnell Česká republika - Distributor elektronických součástek ] [online]. Leeds (Anglie): Farnell, c2019 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: [https://cz.farnell.com/productimages/standard/en\\_GB/2112480-40.jpg](https://cz.farnell.com/productimages/standard/en_GB/2112480-40.jpg)
- [64] SMA Female PCB Mount Straight RF Connector Plug. In: Online Shopping for Cool Gadgets, RC Quadcopter, 3D Printer at Banggood: Banggood [online]. Hong Kong: Banggood, c2006-2019 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: [https://www.banggood.com/10Pcs-1\\_2mm-SMA-Female-PCB-Mount-Straight-RF-Connector-Plug-p-1134489.html?cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/10Pcs-1_2mm-SMA-Female-PCB-Mount-Straight-RF-Connector-Plug-p-1134489.html?cur_warehouse=CN)
- [65] IPX Connector. In: Bilderbeste [online]. bilderbeste, c2019 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: [https://cdn2.bigcommerce.com/server1600/9baf2/products/747/images/1967/IPX-u-fl-Male-Connector-SMD-SMT-Antenna-Solder-Socket-New.jpg\\_640x640\\_\\_27894.1525425093.1280.1280.jpg](https://cdn2.bigcommerce.com/server1600/9baf2/products/747/images/1967/IPX-u-fl-Male-Connector-SMD-SMT-Antenna-Solder-Socket-New.jpg_640x640__27894.1525425093.1280.1280.jpg)



## Seznam elektronických příloh

- **Simulacni\_model\_samce\_SMA.cst**

V CST Studiu vytvořený model samce SMA konektoru. Jedná se o simulační verzi modelu, ve kterém je čelo konektoru uzpůsobeno pro připojení napájecího portu. To umožňuje, aby byl model použit k simulacím u dalších prací v CST Studiu.

- **Simulacni\_model\_samice\_SMA\_5205\_TGG.cst**

V CST Studiu vytvořený model samice SMA konektoru ve verzi 5205 TGG, která je určena pro připevnění k desce s plošnými spoji. Jedná se o simulační verzi modelu, ve které je čelo konektoru uzpůsobeno pro připojení napájecího portu. To umožňuje, aby byl model použit k simulacím u dalších prací v CST Studiu.

- **Simulacni\_model\_precizni\_samice\_SMA\_Mouser.cst**

V CST Studiu vytvořený model samice SMA konektoru v precizní kvalitě, který je určen pro připevnění k desce s plošnými spoji. Jedná se o simulační verzi modelu, ve které je čelo konektoru uzpůsobeno pro připojení napájecího portu. To umožňuje, aby byl model použit k simulacím u dalších prací v CST Studiu.

- **Simulacni\_model\_samce\_U.FL.cst**

V CST Studiu vytvořený model samce U.FL konektoru, který je určen pro desky s plošnými spoji. Jedná se o simulační verzi modelu, ve kterém je čelo konektoru uzpůsobeno pro připojení napájecího portu. To umožňuje, aby byl model použit k simulacím u dalších prací v CST Studiu.

- **Vizualni\_model\_samce\_SMA.cst**

V CST Studiu vytvořený model samce SMA konektoru. Jedná se o model, který má být co nejvěrnější kopií skutečného konektoru. Kvůli zachování věrohodné podoby konektoru, není jeho čelo uzpůsobeno pro připojení napájecího portu. Model tedy není vhodný pro simulace, ale spíše jako ukázka.

- **Vizualni\_model\_samice\_SMA\_5205\_TGG.cst**

V CST Studiu vytvořený model samice SMA konektoru ve verzi 5205 TGG, která je určena pro připevnění k desce s plošnými spoji. Jedná se o model, který má být co nejvěrnější kopií skutečného konektoru. Kvůli zachování věrohodné podoby konektoru, není jeho čelo uzpůsobeno pro připojení napájecího portu. Model tedy není vhodný pro simulace, ale spíše jako ukázka.

- **Vizualni\_model\_samce\_U.FL.cst**

V CST Studiu vytvořený model samce U.FL konektoru, který je určen pro desky s plošnými spoji. Jedná se o model, který má být co nejvěrnější kopií skutečného konektoru. Kvůli zachování věrohodné podoby konektoru, není jeho čelo uzpůsobeno pro připojení napájecího portu. Model tedy není vhodný pro simulace, ale spíše jako ukázka.

